

# 目录

<b>大学组一等奖优秀作品.....</b>	<b>1</b>
1.....基于北斗差分定位的高精度无人机蜂群系统.....	2
2.....基于北斗的智慧航标灯.....	26
3.....绿向标-基于北斗综合服务的可预约智能无人充电桩系统.....	63
4.....基于北斗导航和遥感图像处理的农作物精细化作业方案设计及实现....	72
<b>大学组二等奖优秀作品.....</b>	<b>90</b>
5.....基于北斗系统实现骑行头盔实时监测与报警功能.....	91
6.....北斗/GNSS 数据质量评估及对比分析.....	102
7.....北斗导航信息辅助的单兵 MEMS 自主导航系统绝对定位方法.....	111
8.....基于北斗定位的居民出行结构时空特征疫情影响分析.....	125
9.....基于北斗导航系统的极端天气无人驾驶改进方案.....	140
10... 基于北斗的交通通行优化系统.....	156
11... 基于北斗与 WSN 的矿山地质环境灾害监管系统.....	167
12... 基于北斗的智能牲畜管理系统.....	178
13... 摆摊吧—基于北斗定位与 GIS 的智慧摆摊管理系统.....	200
14... 基于北斗卫星的智能红绿灯动态调控.....	233
15... 反无人机巡逻车.....	250
16... 基于北斗定位的多功能便携式智能救生衣.....	260
17... 基于北斗定位的公路异常路面检测系统.....	274
18... 一种基于北斗的水质监测系统设计.....	282
19... 基于北斗导航卫星系统的多功能便携式智能拐杖.....	298
20... 一种基于北斗定位的辐射探测仪设计.....	309
21... 基于北斗授时模块的水下 PNT 节点时间校准系统.....	321
22... 基于深度学习与北斗定位导航的口罩识别与跟踪提醒巡逻机器人.....	334
<b>大学组三等奖优秀作品.....</b>	<b>349</b>
23... 基于北斗系统的四旋翼无人机飞行姿态与航行路径的研究.....	350

24... 人工智能视角下北斗时空智联引导草原放牧及转场的系统组成.....	363
25... 基于 BDS 与 UAV 的海上航空事故搜救系统.....	383
26... 万物互联——智能遥控垃圾分类桶.....	406
27... 基于北斗和无人机集群的高集成化智慧森林防护系统.....	424
28... 基于北斗卫星导航系统的海空联合无人搜救船.....	441
29... 基于北斗导航的复杂地形无人机搜救平台.....	461
30... 基于北斗的冷链物流追踪系统.....	481
31... 基于北斗的疫情防控舆情分析系统.....	490
32... 基于北斗定位技术的水体富营养化监测预警系统.....	507
33... 新冠疫情下基于“北斗导航”的定点医院智能推荐系统.....	525
34... 基于北斗的疫情防控监测系统.....	547
35... 基于北斗导航的智能农业病虫害检测小车.....	556
36... 基于北斗定位的智能行李箱设计.....	572
37... 基于北斗系统实现汽车“呼之即来，召之既回”的智能出行.....	582
38... 基于北斗导航系统的视障人群智能眼镜.....	587
39... “速递先锋”——基于北斗系统的校园智能运送车.....	595
40... 基于图像识别的双北斗导航电力巡检无人机.....	607
41... 基于神经网络的 BLE 室内辅助北斗定位系统.....	624
42... 伪距差双曲线室内定位原型系统方案.....	639
43... 陆空两栖机场道面巡检车.....	649
44... 基于北斗的疫苗冷链运输监管系统.....	657
45... 基于北斗导航定位的农田土壤环境信息监测系统设计研制报告.....	666
46... 基于 BDS/GPS 的教练车辅助驾驶系统.....	675
47... 北斗驱鸟智能小车.....	688

## 第十二届“北斗杯”全国青少年科技创新大赛

### 大学组一等奖优秀作品



## 基于北斗差分定位的高精度无人机蜂群系统

作者：张泽宇、栾可蓬、岳博仑

指导教师：高旺

学校：东南大学

---

**【摘要】：**单架无人机由于本身软硬件条件的限制，具有执行任务能力弱及无法协同工作等局限性；而传统的多机集群控制系统，并不能适应复杂环境、满足多样化需求，甚至有可能发生任务失败、存在无人机坠毁的风险。为此，本文设计了“基于北斗差分定位的无人机蜂群控制系统”。该系统采用基于北斗差分定位的多系统耦合定位技术，在伪距差分定位的基础上设计无人机蜂群差分模型，提高定位精度和稳定性；采用基于人工智能算法的无人机决策系统和基于图象识别的无人机蜂群避障系统，蜂群无人机可以进行自我决策；采用基于机器学习的无人机蜂群通信链路的分组架构和预警系统，保证通信链路的稳定通畅。系统各个模块之间的密切配合和协同联系，保证了无人机蜂群的正常运行。该系统既能最大地发挥蜂群无人机的数量优势，又能避免无人机数量过多的运行混乱、执行任务效果不佳，拓展了新的任务执行方式，实现高度自治化和人工辅助决策的相互配合，在快递物流、精准农业、商业表演、抗震救灾中有广阔的发展前景和应用潜力。

**【关键词】：**无人机蜂群，北斗差分定位，人工智能算法

**【Abstract】** Limited by its own software and hardware conditions, the single Unmanned Aerial Vehicle (UAV) still has some limitations. However, the traditional UAV cluster control system cannot adapt to the complex environment and meet the diverse needs, and may even have the risk of mission failure and UAV crash. Therefore, this paper designs a "Bees Colony control system of UAVs Based on BDS differential positioning". The system adopts the multi-system coupling positioning technology based on BDS differential positioning, and designs the drone colony differential model on the basis of pseudo-range differential positioning to improve positioning accuracy and stability; adopts the UAV decision-making system based on artificial intelligence algorithms and UAV swarm obstacle avoidance system based on image recognition, swarm drones can make self-determination; use machine learning-based grouping architecture and early warning system of drone swarm communication link to ensure the stability of the communication link unobstructed. The coordination between the different modules of system makes the normal operation of the drone colony. The system can not only maximize the advantages of swarm drones, but also avoid the chaos caused by the excessive number of drones and the poor performance of tasks. It expands new task execution methods and achieves a high degree of autonomy and manual assistance. The mutual coordination of decision-making has broad development prospects and application potential in express logistics, precision agriculture, commercial performances, and earthquake relief.

**【Key words】** UAV swarm, BDS differential positioning, artificial intelligence algorithm

---

## 1 项目背景及研究意义

### 1.1 研究背景

无人机，简称“UAV”，是利用远程控制技术和自动控制技术操纵的无人驾驶飞机。目前，随着无人机在精准农业、快递运输、商业表演、影视拍摄等领域应用越来越广泛，且人工智能、机器学习等新型无人技术与无人机的融合，无人机产业链 2018 年之后五年的年均增长率约为 45%，2022 年预计中国无人机市场规模将超过 400 亿元人民币。



图 1-1 无人机市场规模统计

尽管无人机的高度集成化可以达成大多数任务目标。但是，面对复杂的使用场景和多样的任务要求，单架无人机局限性也非常明显：

(1) 自身可携带的电池容量、承载重量、无人机大小不可能是无限的，面对大型运载任务时，较为困难；

(2) 受传感器数量、灵敏度以及网络通信的限制，单架无人机难以实现大面积、高精度、长时间的对象监测和任务覆盖；

(3) 在危险区域或在通信较差的环境进行任务时，单架无人机会因为通信干扰或者收到外力而损坏，从而导致任务失败，甚至对人造成危险等等。

为避免单架无人机的缺点，无人机应该多架协同工作，而非独立工作。多架无人机组成无人机蜂群系统，协同完成任务，既可以体现无人机的多功能和高集成化的优势，又能避免单架无人机带来的偶然失败和危险性，拓展了任务执行路径，从而实现提高无人机蜂群系统稳定性、改善系统任务完成度的目的。可以预见，在未来，蜂群无人机系统必然是无人机控制的重要组成部分。

### 1.2 研究意义

随着集群智能的崛起，无人机正式迈入集群化时代。但是由于当前无人机蜂群多用于军事领域，由于考虑成本、传输时延、拓扑结构等原因，民用无人机蜂群研究较少。且不同于一般的无人机多机控制，对蜂群无人机的协同控制是一个复杂、充满挑战性的过程，其复杂性主要体现在：

- (1) 任务环境的复杂性
- (2) 多无人机系统成员间的差异
- (3) 任务需求的复杂性
- (4) 计算复杂性
- (5) 通信约束的复杂性

为此，本文设计了“基于北斗差分定位的无人机蜂群控制系统”。无人机蜂群控制技术是一项涉及自动控制、通信、卫星定位和导航的综合系统。采用基于北斗差分定位的多系统耦合定位技术进行厘米级定位；采用基于人工智能算法的最优轨迹规划技术；采用基于图象识别的无人机蜂群避障系统；采用基于机器学习的无人机蜂群通信链路的分组架构和预警系统。无人机蜂群的正常运行，离不开无人机内部子单元的密切配合和协同联系。

## 2 高精度无人机蜂群系统框架

本文设计的无人机蜂群系统包含四大模块：导航定位模块、网络通信模块、视觉避障模块和决策模块。这些模块的具体设计将在下文中一一阐述，它们的相互作用框架如图 2.1 所示：

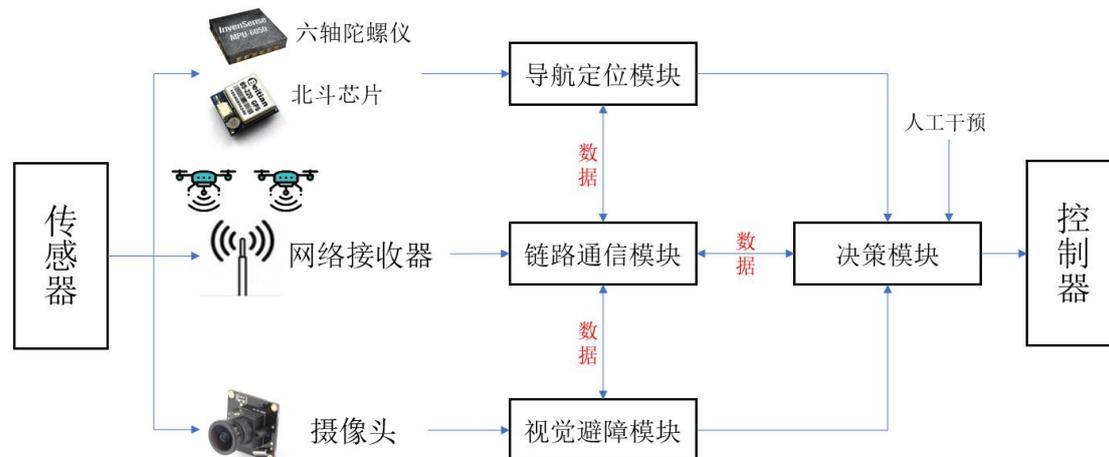


图 2-1 无人机蜂群系统模块框架示意图

## 3 导航定位模块

### 3.1 导航系统框架

在无人机蜂群控制系统中，精准的定位信息和姿态信息是实现蜂群高效完成任务的前提和基础。本文所设计的导航系统就是针对上述目标实现高精度的定位。

#### 3.1.1 方案选择

本文将导航系统框架分为两个部分：北斗定位和姿态解算。

北斗定位部分：

单点定位精度在 10 米左右且受环境影响较大，显然不能满足无人机蜂群的定位要求。而差分方法可以基本消除环境影响，其精度较单点定位有显著提高。差分定位方法主要有：位置差分、伪距差分和载波相位差分。其中位置差分精度较低，载波相位差分应用较少，于是本文采用伪距差分优化定位精度。

姿态解算部分：

姿态解算算法主要有：欧拉角法、方向余弦法和四元数法。其中方向余弦法的正交化方法比其他两种复杂许多，欧拉角法运算量最大，于是本文采用四元数法来进行无人机姿态解算。

### 3.1.2 整体框架

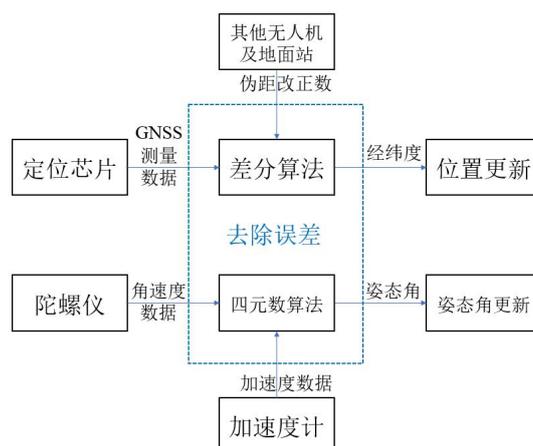


图 3-1 导航系统的整体框架图

## 3.2 基于差分法的无人机高精度定位

### 3.2.1 伪距差分定位模型

选取两个相距不是特别远的不同的测站点，其中一个测站点位置固定，称为固定站，另一个测站点则作为流动站，本文中流动站为无人机，固定站为地面站，两站点同时连续观测相同的北斗卫星，由于固定站参考点的坐标已知，便可实时计算出参考点坐标的改正数，将改正数通过数据链发送给流动站，便可对流动站一侧的定位精度进行改进。伪距差分定位技术的原理如图 3.2 所示。

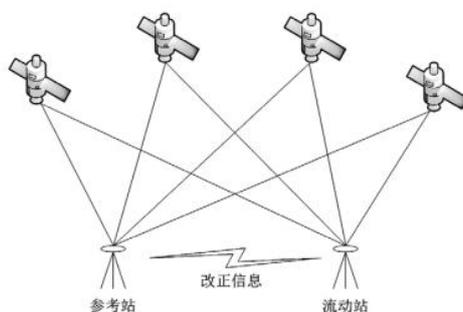


图 3-2 北斗差分定位技术原理图

伪距观测方程用下式来表示：

$$\rho_j^i = \rho + I_j + T_j + dp + dt_r - dt^s - d_j^s \quad (3.1)$$

由于伪距差分定位有两个站，则可将固定站 1 和流动站 2 的伪距观测方程分别用下式来表示：

$$\rho_{1j}^i = \rho_1 + I_{1j} + T_{1j} + dp_1 + dt_{1r} - dt_{1s}^s - d_{1j}^s \quad (3.2)$$

$$\rho_{2j}^i = \rho_2 + I_{2j} + T_{2j} + dp_2 + dt_{2r} - dt_{2s}^s - d_{2j}^s \quad (3.3)$$

根据伪距差分定位的思想，将上述两式作差，可得如下差分观测方程：

$$\Delta \rho_{1,2j}^i = \Delta \rho_{1,2} + \Delta I_{1,2j} + \Delta T_{1,2j} + \Delta dp_{1,2} + \Delta dt_{1,2r} - \Delta d_{1,2j}^s \quad (3.4)$$

经过以上的差分计算之后，可以求得相应的每次定位的伪距改正数如下式所示：

$$\Delta \rho_j = \rho_1 - \rho_{1j}^i \quad (3.5)$$

伪距改正数的变化率为：

$$\dot{\Delta\rho}_j = \frac{\Delta\rho_j}{\Delta t} \#(3.6)$$

求出伪距改正数和伪距改正数的变化率后，将无人机的伪距加上伪距改正数进行修正，可得到较为精确的定位结果。则改正后的流动站的伪距可表示为：

$$\rho_{2j}' = \rho_{2j} + \Delta\rho_j + \dot{\Delta\rho}_j(t - t_0) \#(3.7)$$

将改正后的伪距代入单点定位方程组即可求出经纬度。

### 3.2.2 无人机差分模型

差分算法的核心算法在于选取一个相隔不远的已知坐标的测站与未知坐标的测站进行差分，消除公共误差。在本文的模型中，蜂群本身就是由一群相隔不远的无人机组成，其中任意一个的坐标确定，便可作为固定站为其他无人机消除定位误差。这样的设计具有较好的灵活性和鲁棒性，避免个别无人机通信不畅影响定位精度。本模型的实现如下：

1) 选取蜂群中通信信号最佳，距地面站最近的无人机作为长机与地面站进行差分，确定精确坐标。此时无人机为流动站，地面站为固定站，如图 3.3 所示：

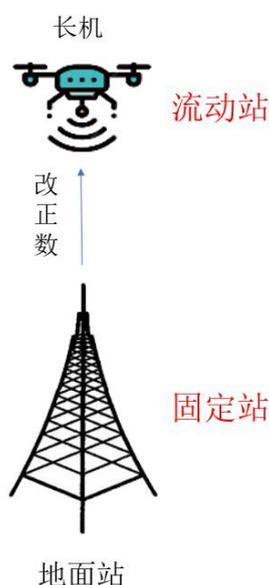


图 3-3 流动站选取示意图

2) 以长机作为固定站，其他无人机作为流动站，分别进行差分，确定其他无人机的坐标。如图 3.4 所示：

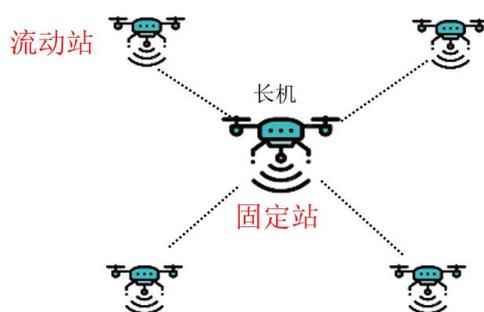


图 3-4 伪距改正数共享示意图

### 3.3 基于四元数法的无人机姿态解算

算法流程如图所示：



图 3-5 姿态算法示意图

其中：  
定义坐标系如下：

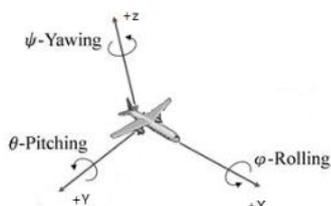


图 3-6 机体坐标系

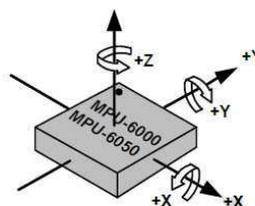


图 3-7 陀螺坐标系

消除陀螺仪误差的方案如下：

1) 提取机体坐标系下的重力分量

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - 2(q_2^2 + q_3^2) & 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 1 - 2(q_1^2 + q_3^2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & 1 - 2(q_1^2 + q_2^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \#(3.8)$$

2) 求解姿态误差

将归一化加速度值（重力向量）与姿态矩阵的重力向量进行叉乘：

$$\begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad \#(3.9)$$

3) 互补滤波

将误差按比例积分调节后与陀螺仪输出的角速度相加，修正角速度值：

$$\omega_i = \omega_i + K_p \times e_i + \int k e_i dt \quad \#(3.10)$$

其中  $i = \{x, y, z\}$ ， $K_p$  为互补滤波系数， $k$  为积分系数。

姿态角为：

$$\gamma = -\arcsin(g_1); \quad \theta = \arctan\left(\frac{g_2}{g_4}\right); \quad \varphi = \arctan\left(\frac{g_3}{g_5}\right)$$

## 4 链路通信模块

### 4.1 理论基础和发展现状

在无人机蜂群控制系统中，基于网络链路通信的数据传输系统是重要组成模块。它实现了无人机与无人机、无人机与控制中心的数据传递、共享、分发

和各种信息（任务信息、视觉识别信息、）的交互等功能，是无人机蜂群的“联络员”和无线通路。

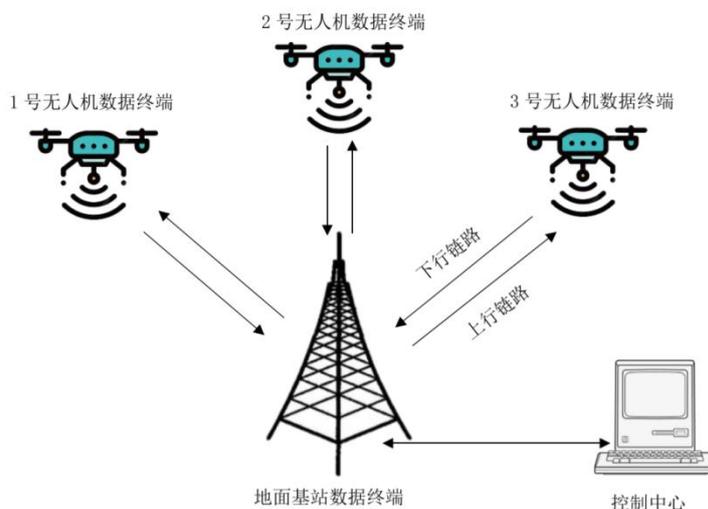


图 4-1 经典无人机编队通信示意图

如图 4.1 所示，系统包括无人机与基站之间的上行链路和下行链路，以及基站与控制中心之间的双工通信。无人机数据链具有高速率、低功耗、低误码率、高接收灵敏度的特点，同时抗干扰能力强，具有存储转发、数据加密功能，成为无人机编队和无人机蜂群的关键内容。

无人机蜂群的链路结构区别于传统的“一站多机”的结构，而是对多架无人机进行编队组网。在传统的“一站多机”控制模式下，由于无人机蜂群没有分编队进行组网，随着无人机数量的增多、通信压力的增大、网络规模的扩大，无人机蜂群的网络链路通信面临着诸多问题，表现为：

（1）排队系统的缓冲队列表现不稳定，网络容量下降，造成严重的转发负担；

（2）在无人机飞行过程中，传输路径有时会出现过长的情况，传输时延也会增加；

（3）在寻找网络路由和路由路径中，过多控制包和数据包会导致数据混乱和优先级错乱，扰乱网络信道，造成控制效率降低，甚至会因为控制不及时发生危险。

因此，如何控制多架无人机组成蜂群有序地执行任务，而不造成通信延迟和中断就显得十分必要。由于多架无人机组成的无人机蜂群具有高动态特性的网络拓扑、链路状态变化频繁、多跳组网等特点，且无人机移动速度较快，影响网络可靠性，提出了一种适应于“一站多机”模式的无人机数据链，其中包括无人机蜂群链路的拓扑结构、链路时帧结构、快速的节点入网和时间同步方案、基于机器学习的网络链路预警方案，完成了高效便捷的无人机蜂群网络链路通信。

## 4.2 设计思路和流程架构

### 4.2.1 无人机蜂群网络链路结构

无人机蜂群网络链路结构是基于“一站多机”模式来进行设计。有别于传统的无人机蜂群模式，多架无人机并不是按顺序编号处理的，而是进行“编队、组网、分发”。

首先，无人机蜂群按照位置、网络条件、无人机型号等特点分为不同编队，其中每个编队由中心节点、备用中心节点和普通节点组成。同时，所有编队的中心节点构成二级网络，便于直接跟基站联络；所有普通节点为一级网络。

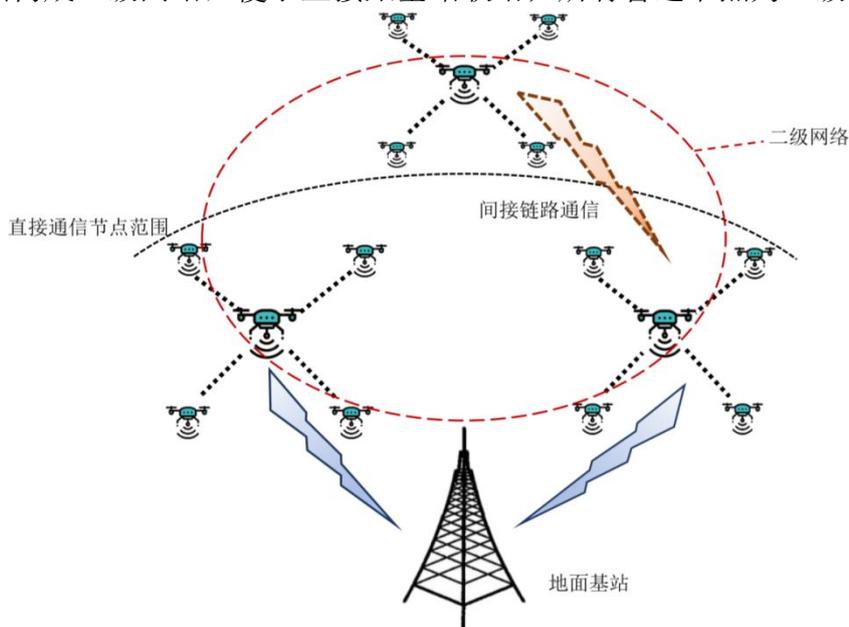


图 4-2 链路通信模块原理图

如图 4.2 所示为无人机蜂群网络链路的拓扑结构，地面基站通过中心节点，来和编队内普通节点达到通信的目的。考虑到长距离通信的时延特性和通信稳定性，对于距离地面基站较远的位置，需要进行网络链路跳转。其中，中心节点到编队内普通节点可以直接到达，但二级网络中，范围可能超出地面基站直接通信的范围。所以，通信分为两种情况：可以直接与基站进行通信的中心节点表现为，直接通信；距离基站较远的中心节点，需要借助第一种情况的中心节点进行跳转，有些距离特别远的情况，甚至需要二次跳转。

同时，为了提高网络的稳定性和鲁棒性，设计了备用中心节点。在原有中心节点退网以后，备用中心节点可以取代中心节点进行网络通信。与此同时，还要选定当前网络最优的普通节点作为备用中心节点，为下次退网做好准备。新加入的无人机直接作为普通节点加入编队。具体流程如下图 4.3。

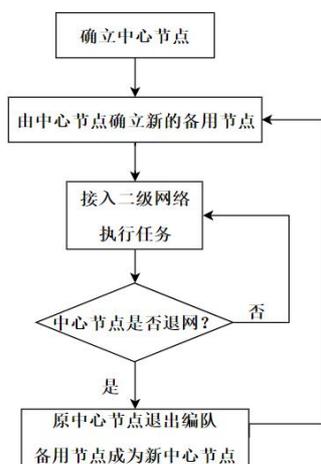


图 4-3 链路组网流程图

### 4.2.2 链路时帧结构、入网和时间同步

无人机链路时帧结构如图 1.4 所示，包括有任务接收帧、图像处理帧以及动态分配帧。每个帧由两部分组成，前一部分正常传输数据，后一部分为 protecting gap，后一部分的时间间隙由同步精度和时延决定。其中，任务接收帧可根据基站当前分配的任务和目前无人机蜂群的网络拓扑结构进行动态分配；图像处理帧将无人机摄像头的图像回传至基站，作为任务分配和控制者分配任务的参考；动态分配帧用于时钟同步和节点入网退网。

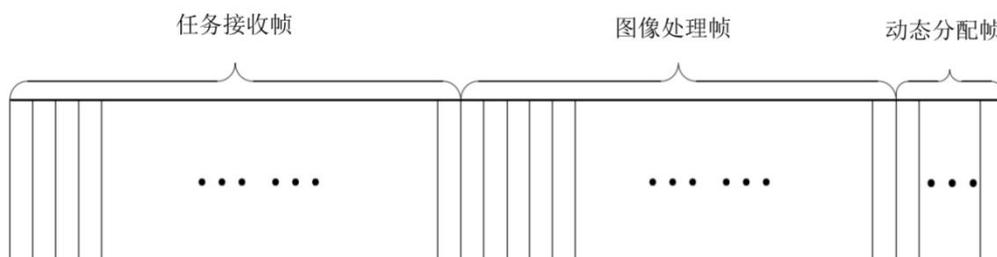


图 4-4 链路时帧结构图

在中心节点在收到任务信息后，基站会发送信息给编队普通节点。基站不可直接与普通节点进行网络链路通信，所以要先通过中心节点中继然后再传输。为了下一次更新拓扑网络，节点在收到任务后要将自身坐标、飞行信息、电量剩余等信息反馈给基站。同样的，所有通信仍然要通过中心节点中继来进行，若节点所在编队无法直接与基站通信，则还需要通过其他编队中继，这样，基站才能掌握各节点的状态。

在正常工作过程中，无人机蜂群网络链路会由于时钟漂移、时间延迟等原因导致时间失去同步，这时候就需要每隔一段时间进行全网的精同步。链路时间同步根据编队编号依次进行。由于帧的长度限制，每个动态分配帧内只同步一个编队，方法是：先中心节点，后普通节点。

在一个新无人机加入编队时候，需要进行入网。入网后，默认为编队的普通节点。节点通常采用被动方式入网，即入网节点会根据飞行路径，计算距离自身最近编队的通信范围。在区域内收到中心节点在编队内广播的入网消息后，入网节点会将自身的位置、状态信息编译为控制字 SCW 反馈给中心节点。为了使链路时帧保持结构稳定，一个时帧只允许一个节点入网，并且动态分配帧需专门提供帧空间保证入网。为了避免有其他节点同时入网，保证网络链路拓扑关系的稳定，中心节点作为中继，只能在入网帧将反馈控制字 RTT\_SCW 给基站。基站则会在接收结束后（即完整帧结束后）更新无人机蜂群的网络链路拓扑图，便于下一次任务发布和时间同步。

### 4.2.3 基于机器学习的网络链路预警

对于多个编队的无人机蜂群链路来说，由于超大的链路规模、超高的网络延迟等原因，管理员可能无法及时准确地掌握各类突发的安全事件，并做出有效响应，使链路的安全管理存在隐患。

如果系统能够自动地利用已有的网络安全事件发生规律进行机器学习，拟合规律、量化计算，预测未来无人机蜂群链路状态，向管理者发送预警，就能很好的避免网络安全事件的发生。

无人机蜂群的不同编队并不是随机的不规则运动，通信链路变化也不是毫无规律的，而是一个慢慢变化的过程，节点运动也是根据基站和控制台的反馈逐渐稳定的。所以针对这种有规律的变化，可以进行量化。对于一个成功且稳

定的网络链路来说，关键是要通信成功，可以使用链路的信息传输成功率来量化链路状态。对于整个过程，以一段时间的平均传输成功率来表示链路状态是比较恰当的。如果仅用某次通信的传输成功率来表征，可能会出现偶然情况，导致预警失败。

由于网络链路分为上行和下行两个方向，既可以按照“接收数据的成功率”来计算，也可以按照“其他节点接收本节点数据的成功率”来计算。

计算“其他节点接收本节点数据的成功率”：需要知道发包向量和被收包向量；计算“接收数据的成功率”：需要知道被发包数量和收包数量。

设收包向量为：

$$R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{ij}, \dots, r_{in}\}$$

发包向量为：

$$S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{in}\}$$

则节点的数据接收成功率 $P_n$ 可由两个向量按元素相除得到： $P_n = \frac{R_i}{S_i}$

同理，可以得到节点的数据发送成功率 $P'_n = \frac{1}{P_n} = \frac{S_i}{R_i}$

由于链路变化较大，需要动态确定取样时间。取样时间偏小，则因变量变化幅度随时间影响变大，不确定性偏大；取样时间偏大，则数据量偏大，处理时间变长，延时变长，且会发生状态平均化现象。链路预测算法中，过去  $n$  个帧的状态为输入，未来  $m$  个帧的状态为输出，一个  $t$  时间长度的数据，构建三层 BP 神经网络，能较好地拟合链路的状态，并且能对突发的网络安全事件做出预警，结合入网退网对危险节点做出判断和控制，从而保证了无人机蜂群网络链路的安全。

## 5 视觉避障模块

在无人机蜂群控制系统中，精准的导航定位非常重要，但与此同时无人机群在按照既定路线行驶过程中应对实时突发情况的自动避障行为也必不可少，这为保障无人机群的飞行安全提供了保证。

### 5.1 方案选择

目前，无人机的避障技术中，不管是红外、超声波还是激光测距，只能给出单个距离值，而无法实现对三维世界的位置感知。

对比几种避障策略的优劣，视觉避障也就成为了首选的方式，视觉避障技术目前主流的分为单目识别与双目识别技术两种，基于单目视觉避障技术通过单摄像头获取图像，对比图像像素变化从而获知运动相关信息，但单个摄像头的图片信息无法获取到物体与镜头位置距离，缺少第三维度也就是景深，使得获取的图像不准确；双目视觉避障采用两个摄像头，立体视觉的产生就提供了景深，也就是我们需要的第三个维度的信息，通过计算视图差建立一个三维场景模型。本文的避障系统中我们将采用双目识别以获取更优秀的避障效果。

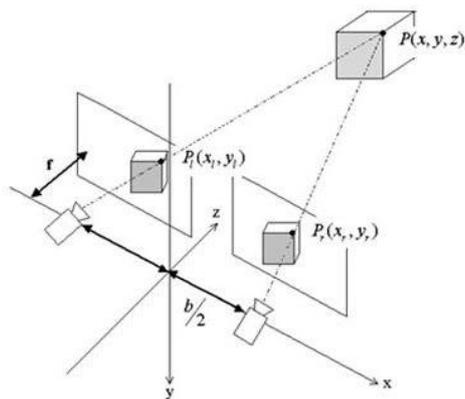


图 5-1 双目识别示意图

## 5.2 算法研究

在使用基于色彩的避障目标图像识别时，障碍目标会因为视角问题和发生重叠遮挡使得检测效果存在误差，而当初选择的双目立体视觉得到的图像深度信息可以应用到障碍目标图像检测，同时依靠无人机蜂群的协同视觉避障，可实现高精度的障碍目标检测。

### 5.2.1 避障目标图像识别



图 5-2 图像识别流程图

#### (1) OpenCV 转换序列帧

使用 OpenCV 将视频数据转换为图像序列。通过高斯滤波和中值滤波处理去除图像噪声，高斯滤波器通过低通方式来对图像进行平滑处理，中值滤波采用正方形区域的中间像素值替换中心的正方形邻域内的八个像素值，从而减少噪声影响。

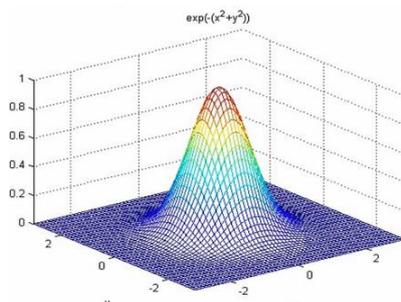


图 5-3 滤波器示意图

#### (2) RGB 转 HSV

在色彩空间转换及图像通道分离过程中，HSV 色调、亮暗和饱和度的表现能力更强，可以将 RGB 颜色空间与 HSV 颜色空间进行转化处理。公式参考如下：

$$k_1 = \max\{r, g, b\}, k_2 = \min\{r, g, b\} \quad \#(4.1)$$

$$v = k_1/255$$

$$s = \begin{cases} 0, & k_1 = 0 \\ \frac{k_1 - k_2}{k_1}, & k_1 \neq 0 \end{cases} \quad h = \begin{cases} \left(0 + \frac{g - b}{k_1 - k_2}\right) \times 60, & s \neq 0, k_1 = r \\ \left(2 + \frac{b - r}{k_1 - k_2}\right) \times 60, & s \neq 0, k_1 = g \\ \left(4 + \frac{r - g}{k_1 - k_2}\right) \times 60, & s \neq 0, k_1 = b \\ \text{undefined}, & s = 0 \end{cases} \quad \#(4.2)$$

在 RGB 中  $r, g, b$  表示红、绿、蓝颜色分量的数值，在 HSV 中  $s$  表示饱和度、 $v$  表示亮度值、 $h$  表示色度。

### (3) 形态学膨胀腐蚀

HSV 三通道合并使用的逻辑与运算得到的结果产生的噪点可以通过形态学计算，借助膨胀腐蚀降低噪点水平。

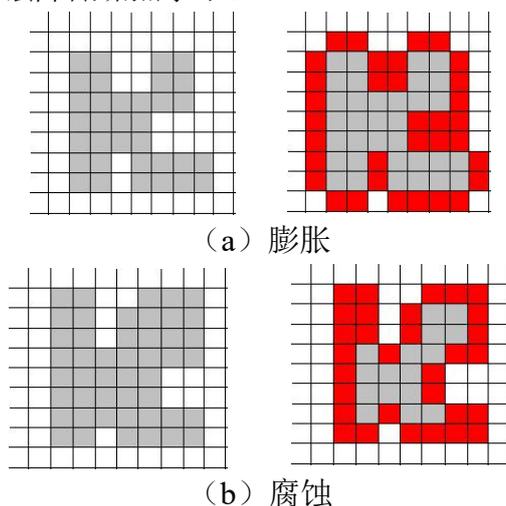


图 5-4 膨胀腐蚀原理图

### (4) Canny 算子边缘检测

使用 canny 算子进行边缘检测，把孤立的待选像素点连接描绘成为目标轮廓，过像素采用滞后性阈值法来构成轮廓。

进行轮廓检测时，先对二维高斯函数取一阶导，设高斯函数表达式为：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad \#(4.3)$$

再计算其梯度矢量：

$$\nabla G = \begin{bmatrix} \partial G / \partial x \\ \partial G / \partial y \end{bmatrix} \quad \#(4.4)$$

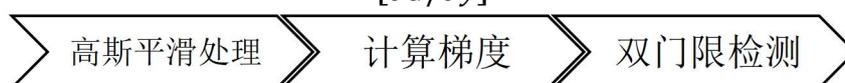


图 5-5 边缘检测流程图

### 5.2.2 结合双目深度信息的避障目标轮廓检测

当存在目标障碍物大面积重叠且颜色相近时，会难以准确检测障碍物轮廓和计算坐标位置，导致检测鲁棒性很差，严重影响无人机安全穿越障碍物。

这是因为近似或相同颜色经过 HSV 颜色空间转换之后会无法区分，对于小部分的干扰可以通过膨胀腐蚀加以处理，但当干扰面积较大且和目标障碍发生重叠，仅基于颜色信息是无法完成任务的，此时就要通过双目识别获取的第三维度信息，景深，加以辅助判断。

获取双目视觉左右视图后，通过双目立体匹配依据三角形相似原理解算得到深度图像，通过使用 k-means 聚类实现区域深度图像分割将深度图中不同区域按照深度切分，得到粗检测轮廓范围内的深度分割。

k-means 聚类算法具体可见：

- (1) 任意选取 k 个聚类质心点为  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k \in \mathbb{R}^n$ 。
- (2) 不断重复过程直到收敛

将双目相机获取到的图像完成以上工作后，轮廓范围内深度依次分为三个区域，从里到外依次是镂空区、障碍物、干扰物，若判断最外层的区域深度大于中间层，则对膨胀腐蚀后的二值图像进行填补凹洞和去除突起。

如果障碍物位置轮廓范围内被深度分为两个区域，从里到外依次是镂空区域、障碍物，则检测准确，接下来依次进行 Canny 算子边缘检测和通过中心距计算轮廓质心。

### 5.2.3 无人机蜂群协同避障

即便采用双目识别，单架无人机获取到的图像视野仍存在死角，此时无人机群的协同效果便加以体现，当无人机视野中存在多架无人机时，借助坐标信息和群组索引进行区分，多架无人机形成一个“无人机子群”，以子群为单位进行视觉避障行为，在子群内建立通讯子网，通过坐标解算获取视野内的交集障碍物，即可以一个无人机子群的形式进行障碍物躲避，大大提高容错率。避障行为结束后，子群解散，各架无人机重回待组状态。

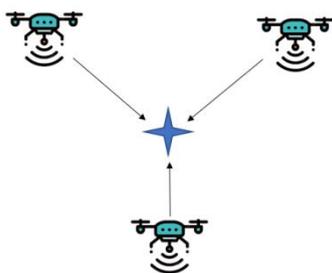


图 5-6 无人机障碍物识别示意图

因此无人机群视觉避障整体概略过程如图 5.7 所示

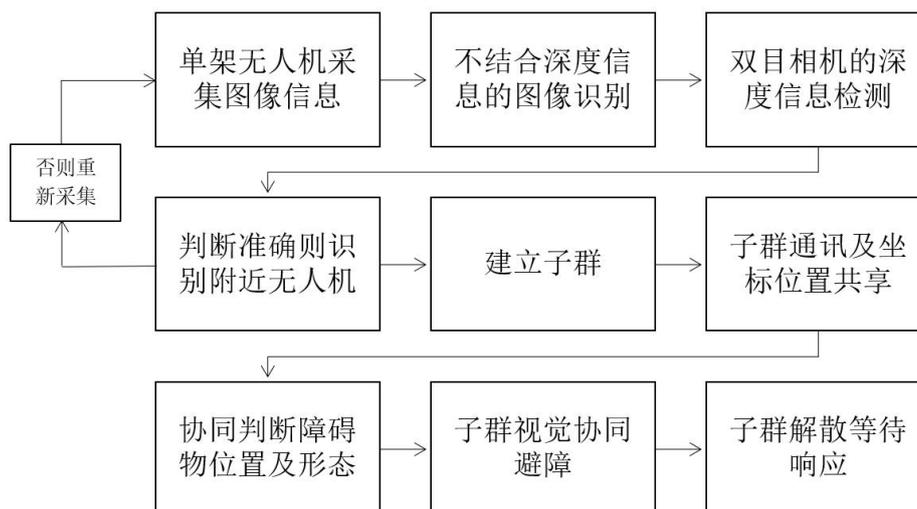


图 5-7 视觉避障流程图

## 6 决策模块

### 6.1 决策系统框架

随着现代算法理论、通信技术、控制技术的发展，现代的飞行器呈现出类型多样、性能好、科技尖端、结构复杂、高度协同化的特点。但这也导致飞行器的精准控制变得更困难，仅靠操作人员的控制难以实现如今的无人机多机协同高复杂度的任务要求。本文提出的决策系统旨在科学高效的实现多无人机协同，减少指挥人员负担，提升完成任务的效率。

#### 6.1.1 方式选择

多无人机决策共有两种方案，分别是集中式方案和分布式方案，下面将分析它们的利弊：

##### 1) 集中式方案

该方案要求每架无人机将自身信息及执行任务信息发送给中央处理器，由中央处理器处理并制定具体方案，在交给各无人机执行。该方案从全局出发，所以方案整体性好、求解质量高。但是，该方案对中央处理器依赖度高，故其时效性、动态性、鲁棒性不佳。

##### 2) 分布式方案

该方案对中央处理器的依赖度显著降低，每个无人机都具备独立自主的决策单元，无人机之间能对自身信息及执行任务的信息进行共享、协商，从而得出规划方案。这种方法时效性好、灵活性强、鲁棒性好，但对于无人机通信有较高的要求。

由于无人机蜂群在实际应用中多为动态问题处理，对时效性和灵活性要求很高，所以本文选用分布式方案作为无人机决策系统的基本方案。至于无人机通信的问题已在上文进行过阐述。

#### 6.1.2 框架流程

本文设计的无人机决策系统包含两大功能：任务分配和路径规划。由于采用分布式决策系统，每个无人机都有一个独立的决策单元。决策单元共分三层：评估层、分配层和执行层。

1) 评估层：根据任务信息生成任务受益矩阵和任务代价矩阵、根据传感器数据和预制信息生成环境模型、威胁约束函数；

- 2) 分配层：根据任务收益与代价矩阵按照任务分配算法分配任务。
- 3) 执行层：根据环境模型、约束函数、任务目标，通过路径规划算法计算出合适的路径。

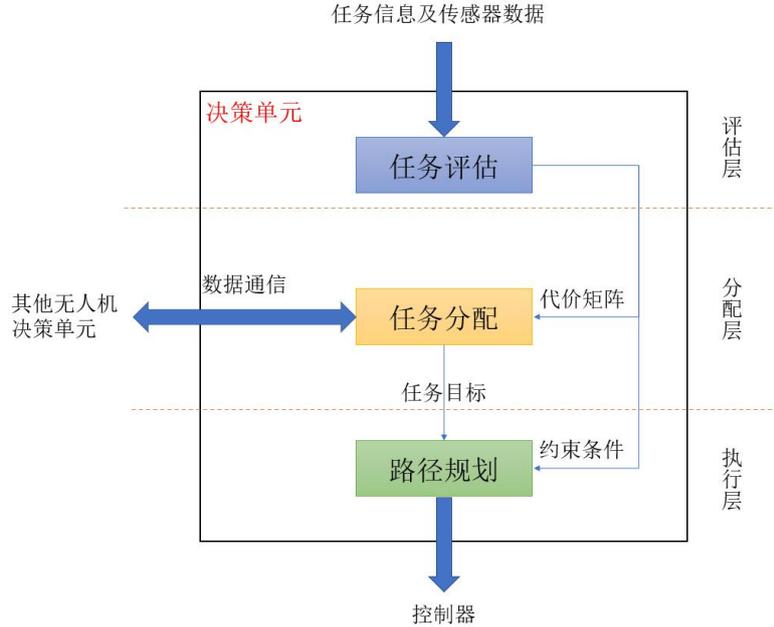


图 6-1 决策单元结构图

本框架的优势在于：在执行任务过程中发生变化时，无人机能通过相互通信和自身传感器数据对任务重新进行评估、分配与执行，通过迭代使整个任务过程中的成本最小。

## 6.2 任务分配问题建模

多无人机任务分配问题的目标使得蜂群无人机在各种约束条件的要求下，所付出的代价最小且效率尽可能提高。本模型主要考虑目标收益最大，航程时间最短。定义 $N_v$ 个无人机 $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ ， $N_m$ 个任务 $\{M_1, M_2, \dots, M_n\}$

1. 定义决策变量： $A_{ij}$ ，使其满足：

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & V_i \text{ 执行任务 } M_j \\ 0, & V_i \text{ 不执行任务 } M_j \end{cases} \quad \#(6.1)$$

2. 根据任务信息，定义收益矩阵  $B$ ：

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1N_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N_v1} & \cdots & b_{N_vN_m} \end{bmatrix} \quad \#(6.2)$$

3. 考虑目标收益最大有：

$$\max J_1 = \sum_{i=1}^{N_v} \sum_{j=1}^{N_m} A_{ij} c_{ij} \quad \#(6.3)$$

4. 根据任务信息，定义代价矩阵  $C$ （这里代价为完成任务的时间）：

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1N_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N_v1} & \cdots & c_{N_vN_m} \end{bmatrix} \quad \#(6.4)$$

5. 考虑航程时间最短有：

$$\min J_1 = \max\{c_{ij} A_{ij}\} \quad \#(6.5)$$

## 6. 约束条件

1) 每个任务只能被完成一次:

$$\sum_{i=1}^{N_v} A_{ij} = 1 \#(6.6)$$

2) 一架飞机不能同时执行多个任务:

$$\sum_{j=1}^{N_m} A_{ij} = 1 \#(6.7)$$

3) 所有任务都要执行:

$$\sum_{j=1}^{N_v} A_{ij} = N \#(6.8)$$

4) 无人机续航限制, 令完成任务  $M_i$  的消耗为  $d_i$ , 无人机总续航为  $D_{max}$ :

$$\sum_{j=1}^{N_m} A_{ij} d_i < D_{max} \#(6.9)$$

7. 按上述 6 个条件构造新收益矩阵  $B'$ 

## 6.3 使用拍卖算法优化任务分配问题

拍卖算法是用来解决最优分配问题的经典算法, 灵感来自于经济活动中的拍卖过程, 是一种能够在有限步计算中获得最佳分配的算法。在解决任务分配问题时, 其流程如下:

1. 定义无人机  $V_i$  对任务  $M_j$  的出价为  $P_j$  (出价前, 初始价格为 0), 引入上文得出的收益矩阵  $B'$ , 则  $V_i$  当前的利润为:

$$profit = B'_{ij} - P_j \#(6.10)$$

2. 基于自利性, 无人机会选择当前收益最高的任务, 且会对其进行报价, 报价公式如下:

$$P_{old} + \varepsilon \leq P_{new} \leq P_{old} + \varepsilon + \pi \#(6.11)$$

其中:

$\varepsilon < \frac{1}{n}$  ( $n$  为无人机数),

$$\pi = \begin{cases} B'_{ij} - P_j, & \text{不存在次优任务} \\ B'_{ij} - P_j - (B'_{ik} - P_k), & \text{存在次优任务 } M_k \end{cases}$$

3. 每架无人机根据其他无人机的报价计算收益, 选择收益最高的任务给出报价。如此不断竞价, 直到所有无人机均分配到任务。若所有无人机分配的收益均不大于 0, 则需要重新竞价。

竞价示意图如图 6.2、6.3 所示:

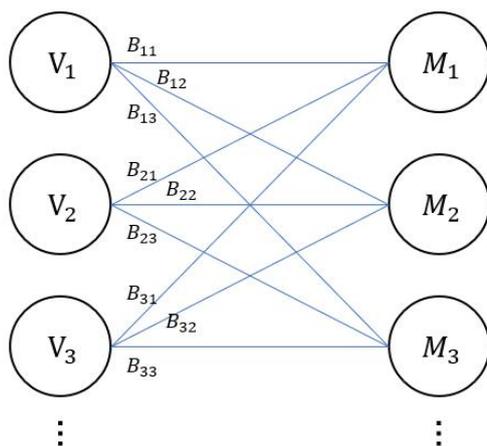


图 6-2 无人机蜂群竞价原理图

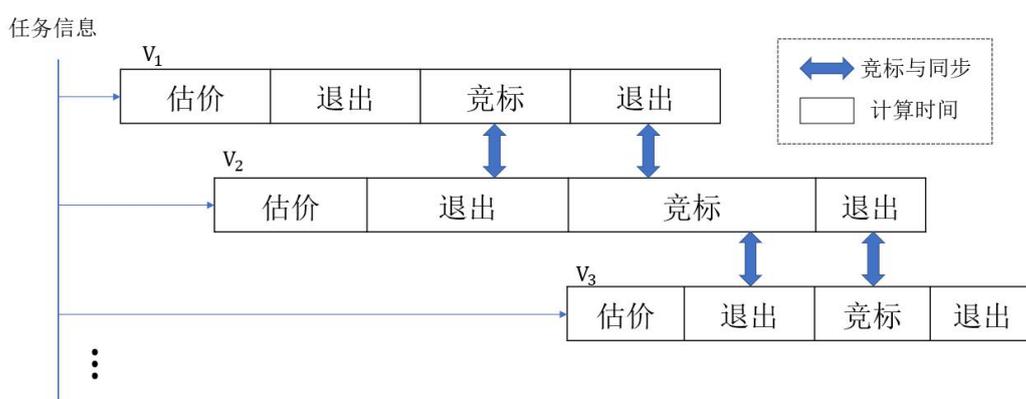


图 6-3 竞价时序图

### 6.4 航迹规划问题建模

航迹规划就是综合考虑地理空间环境、任务要求、可能的威胁和飞行器自身限制等因素的情况下，规划出一条从起点到终点的最佳路径，且可以随突发情况动态调整。本文将环境模型、无人机性能、任务目标作为模型输入，输入规划器，通过机器学习算法，输出规划路径。如图 6.4 所示。其中，无人机性能和任务目标作为约束条件，结合环境模型生成航线评价。

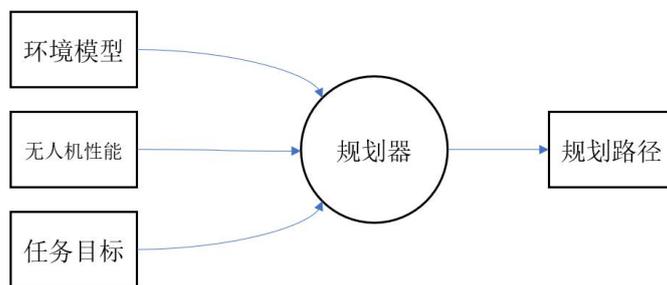


图 6-4 航迹规划示意图

#### 6.4.1 数字地图的建立

数字地图是一种将地形、地物等信息数字化的技术。这些数据保存在数据库内，在无人机执行任务时只需要将数据库内的地图输入飞行决策系统即可。

对于地形的原始数据，采用以下模型模拟：

$$z(x, y) = \sin(y + \alpha) + \beta \cdot \sin(x) + \cos(\gamma \cdot \sqrt{x^2 + y^2}) + \delta \cdot \cos(y) \\ + \eta \cdot \sin(\eta \cdot \sqrt{x^2 + y^2}) + \xi \cdot \cos(y) \quad \#(6.12)$$

其中,  $x$ 、 $y$  是二维平面上的位置坐标;  $z$  是  $(x, y)$  所对应地形高度;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  是常系数, 这些常系数影响地貌的崎岖程度。

想要获得不在已有栅格点内的地理信息就需要对地形模型进行插值。考虑到满足精度要求、连续性要求和算法复杂度要求本文将采用二维三次卷积插值法。该算法是以未知点周围 16 个点的高程值来估算它自己的高程值。

$$\text{设: } \Delta x = \frac{(x-x_i)}{l}, \Delta y = \frac{(y-y_i)}{l}, a(x) = -x^3 + 2x^2 - x,$$

$$b(x) = 3x^3 - 5x^2 + 2, c(x) = -3x^3 + 4x^2 + x,$$

$$d(x) = x^3 - x^2, \text{ 其中 } l \text{ 为网格间距。}$$

于是,  $(x, y)$  处的高程值为:

$$z(x, y) = \frac{1}{4} [a(\Delta y), b(\Delta y), c(\Delta y), d(\Delta y)] \\ \begin{bmatrix} z_{i-1,j-1} & z_{i,j-1} & z_{i+1,j-1} & z_{i+2,j-1} \\ z_{i-1,j} & z_{i,j} & z_{i+1,j} & z_{i+2,j} \\ z_{i-1,j+1} & z_{i,j+1} & z_{i+1,j+1} & z_{i+2,j+1} \\ z_{i-1,j+2} & z_{i,j+2} & z_{i+1,j+2} & z_{i+2,j+2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(\Delta x) \\ b(\Delta x) \\ c(\Delta x) \\ d(\Delta x) \end{bmatrix} \quad \#(6.13)$$

#### 6.4.2 约束条件及其惩罚函数

##### 1) 最大航迹长度

无人机需要考虑所携带的电池容量的大小和特定任务中到达目标需要的时间, 所以航路的长度要受到限制。如果对航迹长度没有限制, 则以航迹最短为最优; 如果设置了最大航路, 记为  $L$ , 则惩罚函数为:

$$\begin{cases} J_L = 0, & \sum_{i=1}^n l_i < L \\ J_L = \frac{\sum_{i=1}^n l_i - L}{L}, & \sum_{i=1}^n l_i > L \end{cases} \quad \#(6.14)$$

##### 2) 最大爬升坡度

为防止无人机与地形发生碰撞, 需要调整航路规划的飞行曲面, 使航迹爬升角  $\theta$  不大于无人机的最大爬升坡度  $\theta_{max}$ 。取航迹空间曲线上两点, 令其对应高度分别为  $z_1$ 、 $z_2$ , 水平距离为  $d$ , 则惩罚函数为:

$$\begin{cases} J_\theta = 0, & \tan^{-1}\left(\frac{z_1 - z_2}{d}\right) < \theta_{max} \\ J_\theta = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\left(\frac{z_1 - z_2}{d}\right)}{\tan(\theta_{max})}\right), & \tan^{-1}\left(\frac{z_1 - z_2}{d}\right) > \theta_{max} \end{cases} \quad \#(6.15)$$

##### 3) 最小离地间隙

由于 2) 中已经对地形坡度进行了限制, 于是只要限制无人机安全飞行高度即可避免与地形碰撞。

##### 4) 最小航迹长度

如上文所述，为减小惯性导航的误差，应避免频繁变向。令 $l_i$ 为第 $i$ 段航程的长度， $l_{min}$ 为最短路径长度，则惩罚函数为：

$$\begin{cases} J_l = 0, & \sum_{i=1}^n l_i > l_{min} \\ J_l = \frac{\sum_{i=1}^n l_i - l_{min}}{l_{min}}, & \sum_{i=1}^n l_i < l_{min} \end{cases} \quad \#(6.16)$$

#### 5) 最大转弯角

航路规划过程中可能遇到满足最大爬升坡度约束但无法满足无人机法向加速度限制的复杂地形。因此，在航迹规划时还要考虑无人机最大转弯角约束。

令第 $i$ 端航段向量为 $\vec{h}_i = z(x_i, y_i) - z(x_{i-1}, y_{i-1})$ ，则惩罚函数为：

$$\begin{cases} J_\varphi = 0, & \cos^{-1} \left( \frac{\vec{h}_i^T \cdot \vec{h}_{i+1}}{|\vec{h}_i| |\vec{h}_{i+1}|} \right) < \varphi_{max} \\ J_\varphi = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{\left( \frac{\vec{h}_i^T \cdot \vec{h}_{i+1}}{|\vec{h}_i| |\vec{h}_{i+1}|} \right)}{\cos(\theta_{max})} \right), & \cos^{-1} \left( \frac{\vec{h}_i^T \cdot \vec{h}_{i+1}}{|\vec{h}_i| |\vec{h}_{i+1}|} \right) > \varphi_{max} \end{cases} \quad \#(6.17)$$

#### 6) 穿越威胁区域

在无人机救灾、军用无人机侦查等应用中，通常需要无人机穿越威胁区域（浓烟、火焰、雷达探测区域等）。令 $R_0$ 为无人机离威胁源的径向距离； $z_s$ 为威胁区域边界的相对高； $R_{max}$ 为威胁的最大作用距离； $t$ 为穿越时间。于是，无人机收到威胁的概率可以近似为：

$$\rho = e^{-\frac{z_s}{z}} - \frac{R_0^4}{R_{max}^4} \quad \#(6.18)$$

惩罚函数为：

$$\begin{cases} J_s = 0, & \text{非威胁区域} \\ J_s = \rho \cdot t, & \text{威胁区域} \end{cases} \quad \#(6.19)$$

### 6.4.3 航迹评价

航迹评价给出整个航迹的惩罚函数。航迹评价综合考虑上文所述的无人机的各种性能指标以及外部因素对于航迹的影响。航迹评价函数应当能判断航迹的优劣，引导算法趋向最优解，同时也应降低算法的复杂度。

上文通过分析各种影响因素总结出了6个约束条件，将它们综合起来可得如下评价函数，而航迹优化的过程即为求解该函数最小值的过程。

$$f(w, x(j)) = \sum_{i=1}^6 \omega_i J_i(x(j)) \quad \#(6.20)$$

其中 $x(j)$ 为第 $j$ 条航迹， $J_i(x(j))$ 为惩罚函数， $\omega_i$ 为惩罚函数的权重。航迹规划生成逻辑如图6.5所示：

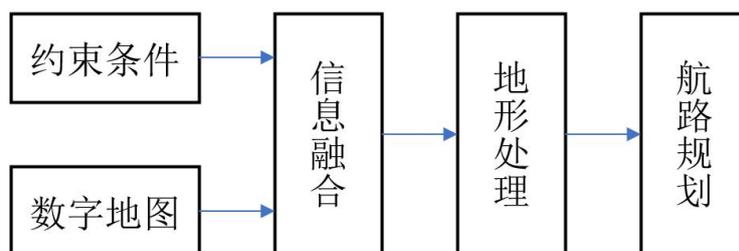


图 6-5 航迹评价流程图

## 6.5 蜂群算法概述

自然界的个体常常会出现聚集、协同的运动场景，如蚁群、蜂群等，如美国 Minsky 提出的智能体概念，生物的个体社会行为可以与计算机领域相结合，进而人类设计了如机器人、车辆、卫星、无人机集群的蜂群结构，以多智能体的形式构成了一种现代化集群方式。



图 6-6 无人机蜂群概念图

### 6.5.1 蜂群算法

蜜蜂群的采蜜系统往往包含雇佣蜂、非雇佣蜂、蜜源：

**蜜源：**在一个优化问题中，问题的可行解一般以一定形式给出。在 ABC 算法中，蜜源位置可以理解为待求的可行解，可行解的优劣用蜜的质量来评价；

**雇佣蜂：**雇佣蜂就是引领蜂，在人工蜂群算法中，蜜源数与引领蜂数一致，一一对应；

**非雇佣蜂：**非雇佣蜂既有跟随蜂也包括侦查蜂，跟随蜂在蜂巢的招募区选择蜜源进行跟随，侦查蜂负责寻找新的蜜源。

人工蜂群算法由 Karaboga 提出，这是一种基于群智能的全局优化算法，算法思想来自于蜜蜂采蜜行为，蜜蜂根据分工进行不同的活动，从而实现了蜂群信息共享和交流，这个过程从算法角度来看就找到了问题的最优解。

在一次搜索后，如果寻得了蜜源，蜜蜂会将位置信息记忆，进行采蜜。此时，蜜蜂就是雇佣蜂，回到蜂巢后它会进行如下选择：

1) 放弃这个蜜源，并且转为非雇佣蜂。

2) 引领蜂在蜂巢跳舞招募更多的蜜蜂；或者不采取招募行为，仍然在同一个蜜源继续采集花蜜。

而非雇佣蜂可做出如下选择：

- 3) 转化为侦察蜂，搜索蜜源。
- 4) 观察跳舞后，转为跟随蜂，采集蜂蜜。

## 6.6 将蜂群算法应用于航迹规划

航迹规划算法是航迹规划的灵魂，它的主要目的是通过一些高效的策略规划出合理而具体的航迹。航迹规划算法中：智能搜索法在解空间过大时可能出现组合数量指数式增加和求出的解陷入局部最优的情况；最速下降法迭代次数要求很高且不一定能求得最优解；人工势场法无法解决同类的障碍物的处理问题，在狭窄通道内还存在摆动现象；遗传算法和蚁群算法的计算复杂度较高。

蜂群算法在解决优化问题方面具有灵活性高、稳定性佳的优势，本文将将其作为航迹规划的算法，算法的具体步骤如下：

1. 建立环境模型，设置任务目标坐标矩阵，无人机起始点矩阵，威胁区坐标矩阵，威胁半径矩阵；
2. 初始化算法参数：跟随蜂总数  $n_{\text{OnLooker}}$ 、蜜源抛弃上界  $\text{Limit}$ （这里设置为  $\text{round}(0.6 * n_{\text{Var}} * n_{\text{Pop}})$ ）、蜜源搜索范围扩大系数  $a$ （这里设为 1）、单次保存的蜜源最大数量  $\text{store\_max}$ 、最大迭代次数  $\text{iter\_max}$ ，搜索时间  $T$ ；
3. 在搜索空间中随机生成初始解  $x_i$  ( $i=1,2,3,\dots,\text{store\_max}$ )。由公式 (6.20) 计算初始解的代价；
4. 更新路径，并用评价函数计算代价如果新的代价比原来的代价低，更新它们的位置；
5. 在所有引领蜂完成搜寻过程之后，跟随蜂计算每个解的选择概率。每一个招募一个非雇佣蜂，将在引领蜂周围的空间继续搜索新解，并更新路径，并且计算它的代价。如果新方案更优，则将非雇佣蜂转化为雇佣蜂，并且  $T$  重新置 0，否则，保持继续搜索， $T$  加 1；

在所有跟随蜂完成搜寻过程之后，如果一个解经过  $\text{Limit}$  次循环仍然没有搜索到更优的解，那么就判断此解陷入局部最优。需要重新计算初始化参数及其代价；

保存最优解，检查迭代次数是否到达设定值。

流程图如图 6.7 所示，MATLAB 仿真结果如图 6.8 所示：

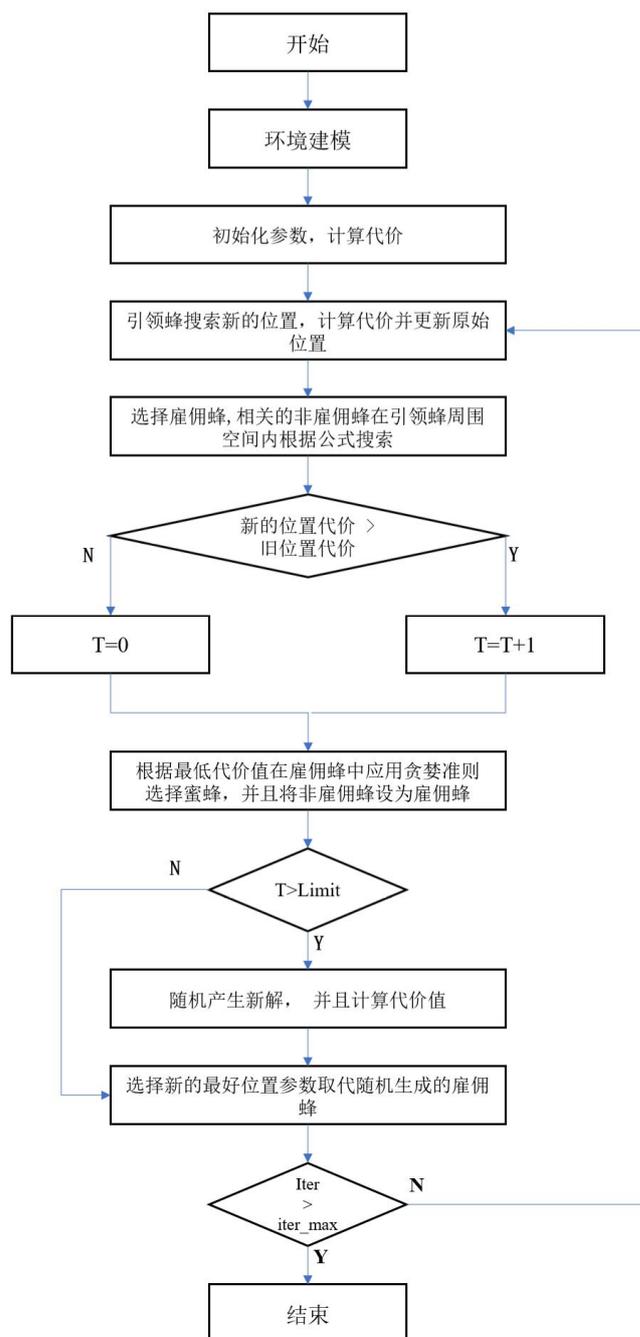


图 6-7 航迹规划算法流程图

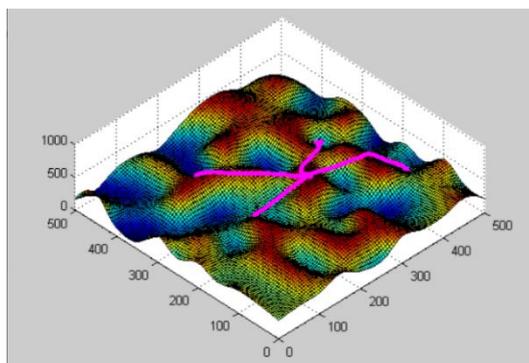


图 6-8 MATLAB 仿真效果图

## 7 创新及应用前景

### 7.1 创新点

1. 将北斗导航与陀螺仪相结合，同时获取无人机的定位数据和姿态数据。利用差分定位算法和四元数算法，将定位精度提高至厘米级，提供更加准确的无人机位置信息。引入无人机蜂群差分模型提高系统的灵活性和鲁棒性；
2. 设计了分布式无人机决策系统，通过在每架无人机上部署子系统，实现任务分配及路径规划动态调整，实现智能化决策；
3. 采用了基于双目识别的无人机群协同视觉避障，以无人机子群的形式大大提高了识别的准确性和容错率；
4. 搭建了新型的“一站多机”无人机蜂群的数据链网络结构，设计了无人机蜂群链路的拓扑结构、链路时帧结构、快速的节点入网和时间同步方案、基于机器学习的网络链路预警方案，完成了高效便捷的无人机蜂群网络链路通信。

### 7.2 优势点

- 1、去中心化  
控制链路与通信链路的分离，降低系统破坏敏感性，具有即插即用、随时入网的特点，使得系统或无人机受损后仍可有序协同执行任务。
- 2、自主化  
飞行个体间具备位置共享及路径规划、感知规避能力，“蜂群”根据设定自主飞行，必要时人员又可随时干预。
- 3、高度自治化  
无人机自然形成一个稳定的集群结构，若改变蜂群的拓扑结构，新的拓扑结构会快速自动形成并保持稳定。

### 7.3 应用前景

行业	应用
快递物流	采用无人机开展快递业务将降低人力成本和运力成本，不受地形交通限制，可显著提高派送效率。在未来快递无人机规模成倍增长后，基于北斗差分定位的高精度无人机蜂群系统则可为快递无人机提供解决方案。
精准农业	采用无人机蜂群协同作业进行光谱分析、农业信息采集，从而达到农业种植的精确化和目的化。
商业表演	基于北斗差分定位的无人机蜂群技术为核心的无人机灯光秀可以作为传统烟花的替代品，在不对环境造成污染的前提下，给人们带来强烈的视觉冲击。
救灾通信	当自然灾害发生时，无人机蜂群可以克服地形限制，快速地布置到灾区上空，并以自身为节点，在最短的时间内实现灾区通信的恢复，快速建立临时通信网并查看灾情。

多台无人机蜂群技术目前仍处于起步阶段，尤其是在民用领域，但其发展迅速，其广阔的前景十分引人注目。基于北斗差分定位的无人机蜂群技术的广泛应用不仅将改变未来战争的作战形态，也将推动无人机产业在民用市场的持续爆发，并再度掀起无人机产业发展的热潮

### 参考文献

- [1] 张观福. 无人机编队网络链路劣化预测方法研究[J]. 电子世界, 2020(21):33-34.
- [2] 曹凯. 无人机数据链组网技术的研究[D]. 西安电子科技大学, 2014.
- [3] 马子玉, 何明, 刘祖均, 顾凌枫, 刘锦涛. 无人机协同控制研究综述[J/OL]. 计算机应用:1-8[2021-02-06].
- [4] 王新东. 基于机器视觉的无人机避障技术研究[D]. 西安电子科技大学, 2018.
- [5] 肖道文. 基于双目立体视觉的无人机避障算法研究[D]. 电子科技大学, 2019.
- [6] 杨磊, 陈海华, 娄鹏彦. 基于机器视觉的无人机避障技术研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2019(17):73-75+78.
- [7] 丁家如. 多无人机任务分配与路径规划算法研究[D]. 浙江大学, 2016.
- [8] 万娇. 基于 GPS/INS 的无人机组组合导航信息融合方法设计[D]. 南昌航空大学, 2018.
- [9] 王涵. 无人机航迹规划及导航定位系统研究[D]. 浙江大学, 2017.
- [10] 邓启波. 多无人机协同任务规划技术研究[D]. 北京理工大学, 2014.

## 基于北斗的智慧航标灯

作者：韦梅芬、张江曜、杨媛、王振昊

指导教师：林宇洪、潘静静

学校：福建农林大学

**【摘要】**以连接中外贸易往来和文化交流发展的海上丝绸之路为研究背景，近年来，海上丝绸之路面临着许多挑战，海上交通事故频发致使航道重要节点被阻。为了加强对海丝航道的监管，保障航道安全，项目团队基于北斗技术发明了一种智慧航标灯，其工作原理是，由内置北斗模块通过北斗定位确定航标灯自身经纬度，并通过航标灯自带的 AIS 模块，向周边船舶广播航标灯位置，形成电子海图，实现全天候导航。同时通过“LoRa+NB-IOT”复合通讯网络，将 AIS 数据上传至云端，由云端解析出航道上各船舶的坐标和运动趋势，通过推算运动趋势推测当前的实际位置，再通过数学模型计算船舶碰撞风险概率。同时判断船舶是否进入危险区域，发出助航信息，告知驾驶员的有效避碰策略。由云端进行航行风险评估，并根据不同的航道位置通过北斗短报文等六种不同告警方式告知风险船舶。通过北斗差分定位检测真实浪高和洋流飘流方向，推算实际风速和风向，有助于实现精细化管理，并在台风天气中引导船舶及时避险。智慧航标灯能通过北斗卫星获得精准授时，以保证航道监管点的时钟同步，发挥了北斗系统的授时功能。通过北斗三号中轨搜救功能和反向链路，实现信息交互的双向确认，以提升搜救成功率。“基于北斗的智慧航标灯”拥有中国鲜明特色的北斗技术应用，利用了北斗三号的定位、导航、授时、短报文与搜救五大功能，达到了智能时空感知和智能处理信息，响应了国家“科技发展主动权”、“一带一路”战略需要，能有效降低海上事故发生的概率，从而构建了“数字海丝”体系，为智慧海丝航道建设作出积极贡献。

**【关键词】**北斗，海上丝绸之路，物联网，LoRa，NB-IOT，卫星搜救

**【Abstract】**In recent years, the Maritime Silk Road, which connects the development of trade and cultural exchanges between China and the rest of the world, has faced many challenges. The frequent maritime traffic accidents have blocked important nodes of the route. In order to strengthen the supervision of Hester channel, to ensure the safety of navigation, the project team based on beidou technology invented a beacon light wisdom, its working principle is that by the built-in compass module through beidou positioning to determine latitude and longitude beacon light itself, and through the beacon light own AIS module, to the surrounding Marine radio beacon light position, electronic chart formation, realize the all-weather navigation. At the same time, the AIS data is uploaded to the cloud through the "LORA +NB-IOT" composite communication network, and the coordinates and movement trend of each ship on the passage are analyzed from the cloud. The current actual position is deduced by calculating the movement trend, and then the probability of ship collision risk is calculated by the mathematical model. At the same time, it judges whether the ship has entered the dangerous area, sends out the

navigation aid information, and informs the pilot of the effective collision avoidance strategy. The cloud carries out navigation risk assessment, and informs the vessels at risk through six different warning methods, such as Beidou short message, according to different channel positions. The real wave height and drift direction can be detected by Beidou differential positioning, and the actual wind speed and direction can be calculated, which is helpful to realize fine management and guide ships to avoid danger in time in typhoon weather. The intelligent beacon light can obtain accurate timing through the Beidou satellite to ensure the clock synchronization of navigation channel monitoring points, which gives full play to the timing function of the Beidou system. Through the search and rescue function of the Beidou 3 mid-orbit and the reverse link, two-way confirmation of information exchange is realized to improve the success rate of search and rescue. "Based on the wisdom of the beidou navigation light" beidou technology application with Chinese distinct features, using the beidou positioning, navigation, timing, no. 3 short message and search and rescue the five functions, to achieve the intelligent perception of time and space and intelligent process information, to respond to the country "the development of science and technology initiative", "area" strategic needs, can effectively reduce the probability of maritime accidents, so as to build the system of "digital Hester", Hester for wisdom waterway construction of a positive contribution.

**【Key words】** BDS, Maritime Silk Road, Internet of Things, LORA, NB-IoT, satellite search and rescue

---

## 1 研究背景

海上丝绸之路是中国对外经济交往的重要通道，海丝航道包括了内河航道、近海航道、远海航道，海丝航道如果出现交通拥堵，将会影响一带一路的物流效率。2020 年国家推出了“新基建”战略，将 5G 基建、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大领域列为新基建重点。可把数字海丝航道列为新基建工程，实现对海丝航道交通状况的全面感知。通过采集海丝航道的大数据，提供船舶轨迹、检测交通风险、提供北斗导航、北斗时钟、北斗通信等基础功能支持。

目前，我国港航水运发达，航运的服务保障能力至关重要，但目前国内智能航道的研究和开发仍处于起步阶段，亟需尽快加强航道信息系统的构建与整合。基于北斗定位、导航、通信技术的智能航道系统，可将 5G 通信技术、互联网技术、信息技术以及系统工程技术进行综合集成，构建经济便捷、高效互通、安全环保的信息服务一体化的智能航运体系。

## 2 国内外研究现状

在 AIS 技术发展过程中，一些学者提出在传统航标上集成 AIS 收发装置的新思路。例如，学者石顶峰提出可以在航标上加装船舶自动识别系统（AIS）用于采集航标周边的船舶动态航行数据<sup>[1]</sup>。而在航标管理及维护层面上，也有不少学者提出了新颖的思考方向，例如：学者金月提出通过分析现有航道运维

平台上航标遥测遥控系统中的实时数据,实现航标电量、漂移以及灯质异常等的预报警<sup>[2]</sup>。广西壮族自治区梧州航道管理局学者刘临雄在总结了建设航标远程遥控遥测信息化管理系统的经验后,提出建立多功能航标智能系统等的设想,即在航标终端配置如位置监测子系统、碰撞检测子系统、风向与风速监测子系统等多个子系统,通过拓展航标感知范围的方式来提高感知精度<sup>[3]</sup>。东海航海保障中心温州航标处学者竺国大设计了基于北斗的航海保障综合助导系统,通过北斗卫星短报文通讯的方式来对航标的运行状态进行监控<sup>[4]</sup>。宁波航标处学者苏建提出将无人机应用于航标巡检上,提高航标巡检效率<sup>[5]</sup>。

再放眼国外,20世纪90年代初,美、英、法等各航运大国开始利用现代通讯技术与电子技术建立航标智能化管理系统,该系统为其提供了高效的航运服务。1993年美国开始对智能航运信息服务网络系统进行研究,研究包括船舶数据自动交换、船舶自动识别、船舶导航三大系统,并构建水路信息网络(Waterway Information Network, WIN),针对水上交通监管与信息化服务,开发了IWS系统<sup>[6]</sup>。为改善欧盟内河航运市场中各国制度、法规等的不一致以及各国航运信息系统兼容性差的现象,1996年欧盟开始着手研究内河航运信息化建设,并于1998年启动INDRIS(Inland Navigation Demonstrator for River Information Services,内河航运信息服务示范)项目,在随后几十年内通过不断集成现代信息技术完善RIS系统,实现内河航运的信息协同,提高内河航运安全性<sup>[7]</sup>。21世纪初美国开始运用电子助维运输系统,该系统大幅提升了航道的日常维护工作效率<sup>[8]</sup>。日本学者Hata通过仿真方法,发现了AIS信道瓶颈,并对交通繁忙的海域AIS信道紧张的原因做出解释<sup>[9]</sup>。

通过对国内外研究方案进行对比,发现国内外众多学者在AIS技术应用和优化上已取得较多进展,对内河以及近海航行船舶监测的研究也较为丰富。目前对内河及近海航行船舶的监测主要有船舶自动识别系统、GPS+GPRS/CDMA+GIS、海事卫星等多种途径,但对于远海航行船舶的监测只有卫星通信单一途径<sup>[10,11]</sup>。

## 3 系统设计与实现

### 3.1 系统架构设计

设计系统架构图见图3-1,智慧航标灯集成了北斗模块和AIS模块,利用北斗定位功能实现全天候导航,并构成航线趋势线,起到北斗精准导航的作用。通过北斗授时,实现监管网络时钟同步,提高监控精度。船舶AIS数据通过复合通讯网络上传至云端,云端推算航行运动趋势,计算交通冲突概率,并将告警信息通过北斗短报文等六种警告手段告知船舶。

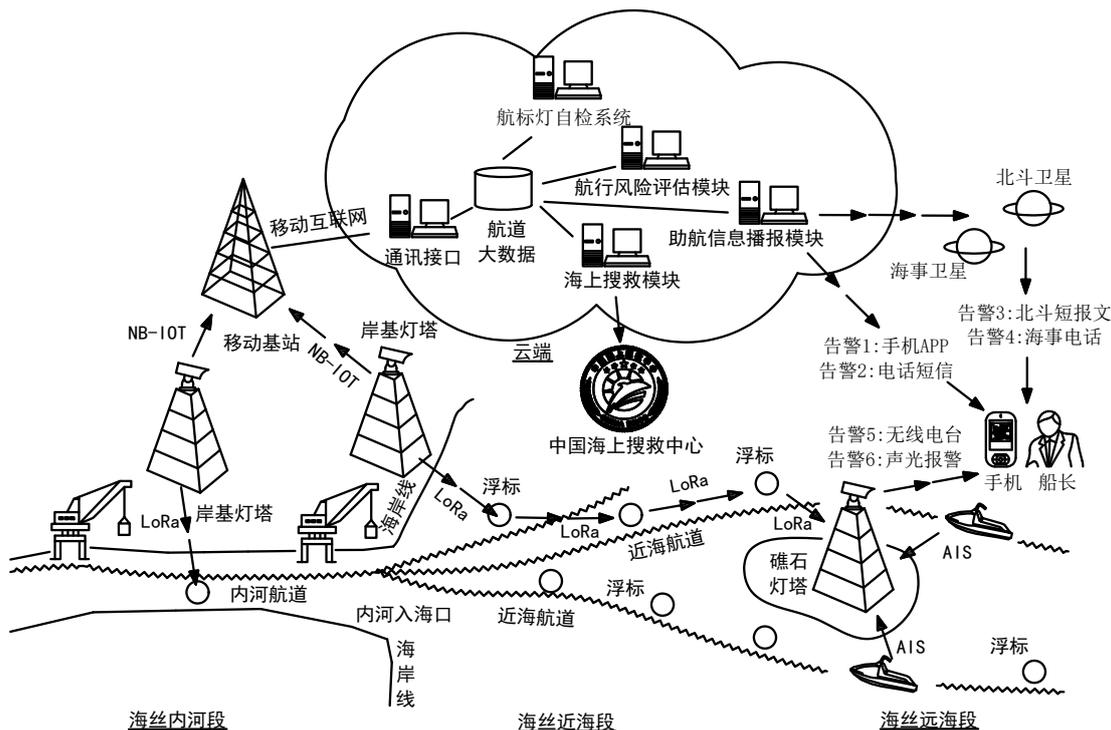


图 3-1 系统架构图

### 3.2 感知层设计

#### 3.2.1 智慧航标灯的设计

基于北斗技术的“岸基灯塔型智慧航标”硬件架构图见图 3-2。

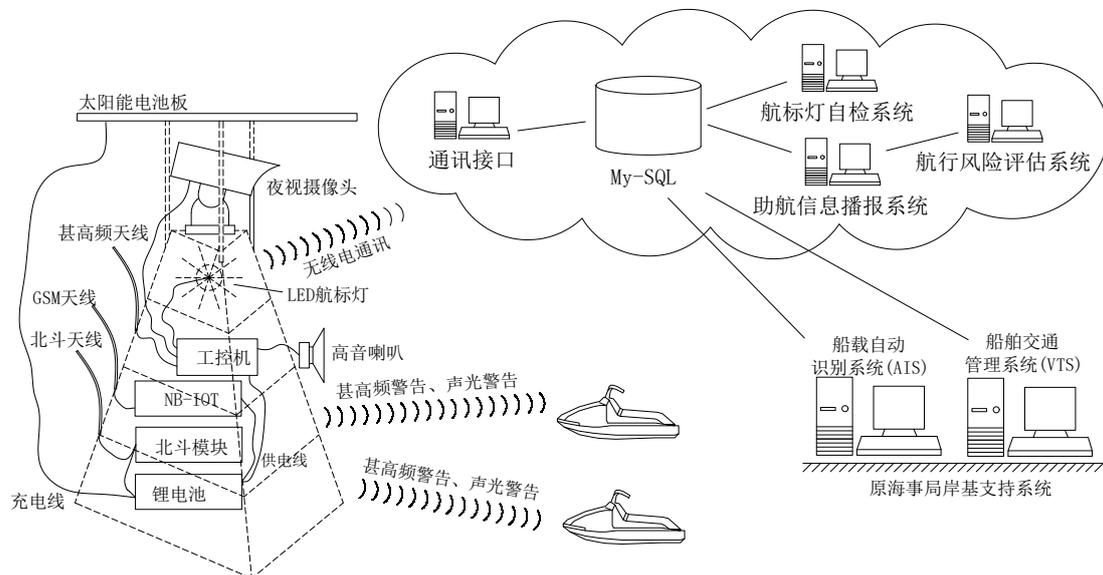


图 3-2 岸基灯塔型智慧航标硬件架构设计

智慧航标灯硬件系统包括北斗模块、太阳能供电模块、单片机控制板、AIS 收发模块、5G DTU 无线数传模块、继电器 1、继电器 2、继电器 3、喇叭功放模块、语音合成模块、高清摄像头及云台模块、高音喇叭、双向甚高频无线电台（CY-VH01）、航标 LED 灯、闪烁报警 LED 灯。

本设计采用了北斗星通公司生产的型号为 UM4B0 的北斗高精度定位芯片和天鸿辰芯公司生产的型号为 HS201 的北斗短报文模块。原理图如图 3-3，图 3-4 所示。

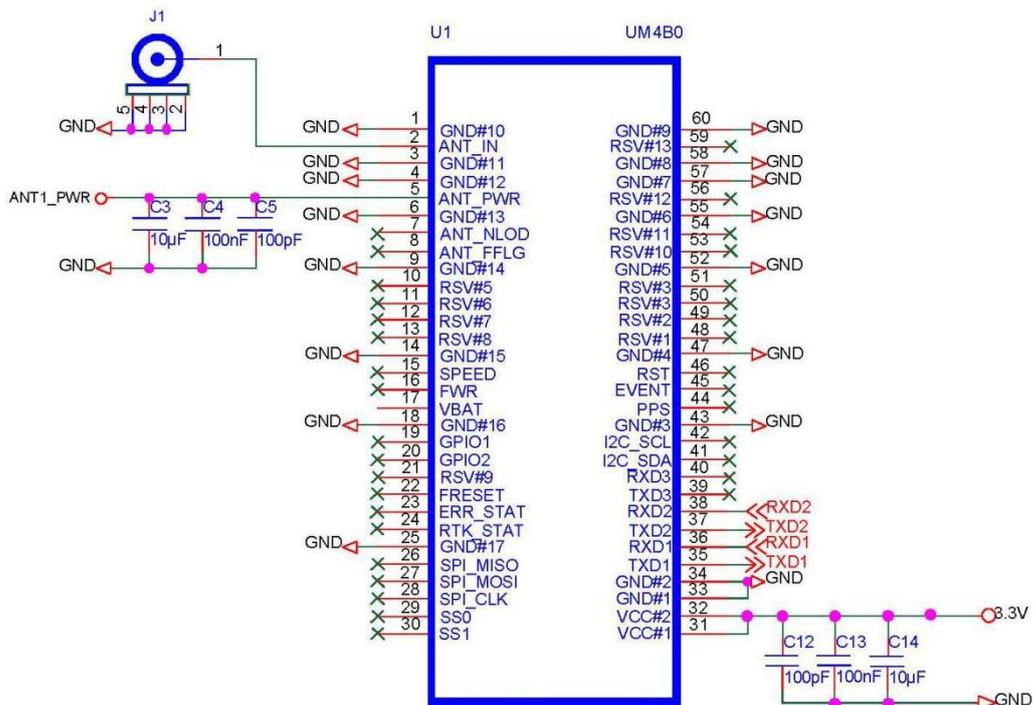


图 3-3 UM4B0 北斗芯片原理图

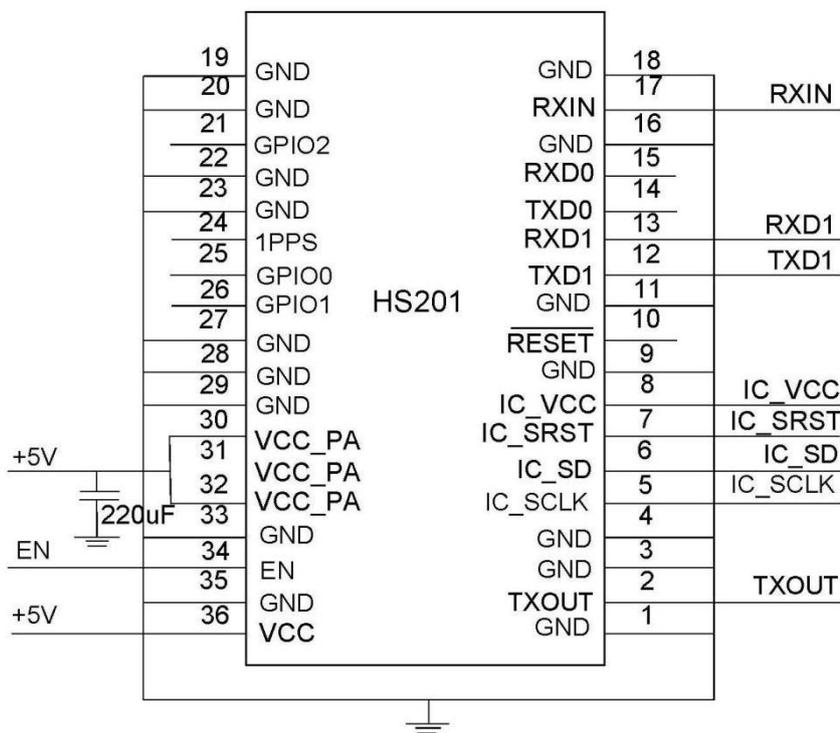


图 3-4 HS201 北斗短报文模块原理图

云端软件系统包括云端通讯接口、视频处理模块、硬盘录相机、云端助航模块、海图数据库、避碰算法库；

硬件模块框图见图 3-5。该框图中，如果需要传递视频视频信息，航标灯的通讯模块选择 5G-DTU，如果仅传递 AIS 数据包，选择 NB-IOT。

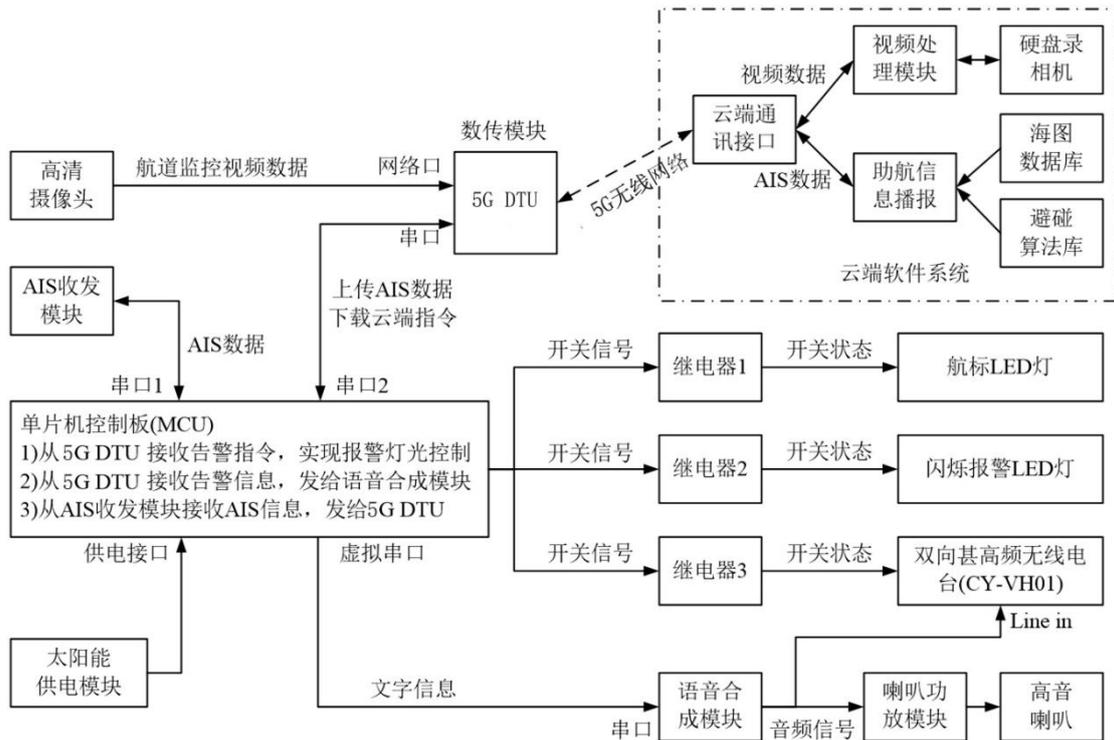


图 3-5 智慧航标灯硬件模块框图

### 3.2.2 基于 5G NB-IOT 无线数传模块设计

大多数智慧装置采用传统 GPRS DTU 无线透明数传，存在着耗电较大、信号较弱等缺点。

而 NB-IOT DTU 可以直接替换传统的 GPRS DTU，两者工作原理和用途基本一样，都是实现户外生产数据和云端服务器之间的双向透明数传，都适用于传输速率不大的工农业领域。

而 NB-IOT 和 GPRS DTU 相比较具有网络覆盖强、链接能力强、功耗更低、成本更低等优点。

此次无线数传模块设计我们选择华为公司的 Boudica，超低功耗 SoC 芯片，基于 ARM Cortex-M0 内核，采用 CoAP 协议方式，搭载 Huawei LiteOS 嵌入式物联网操作系统。

智慧航标灯的 MCU，采用图 3-6 的工作流程图，实现传感器数据采集、NB-IOT 的通讯、报警信息的上传、MCU 自身休眠等工作任务。

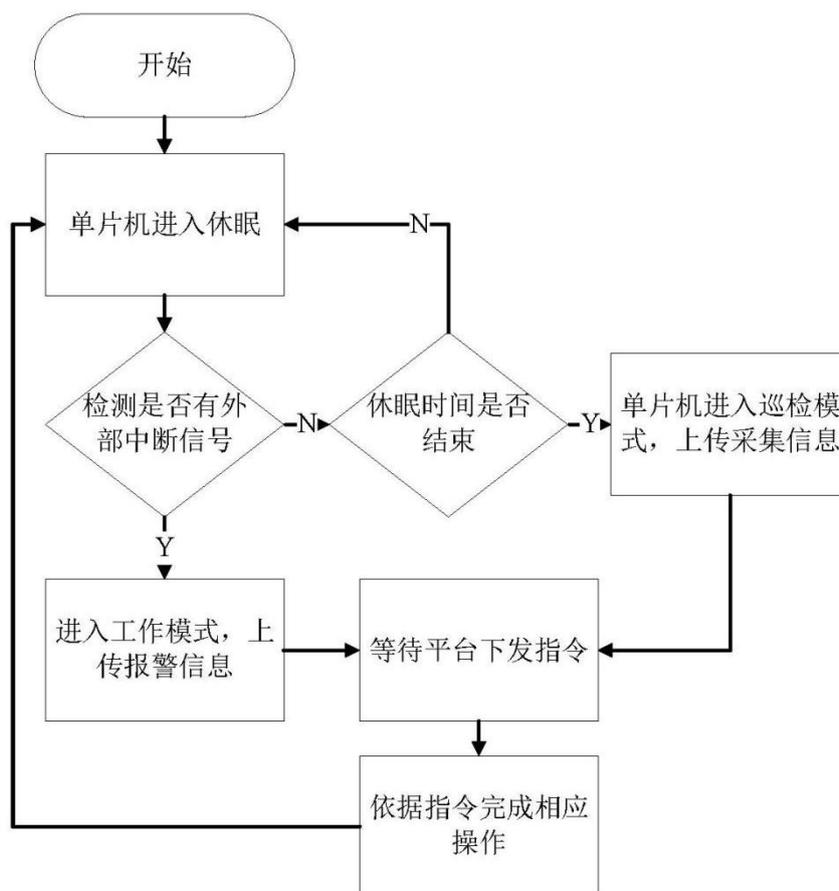


图 3-6 MCU 工作流程图

### 3.2.3 基于 AIS 的船舶航行数据采集模块

“船舶航行动态数据采集模块”由 AIS DYH-1203-703 模块、USR-G780 无线透明数传模块、北斗模块、GSM 天线、锂电池和充电电路六个部分组成。

AIS 模块+无线透明数传模块，发送的数据包完整度高，稳定性极高，丢包率基本为 0。当 UART 串口有数据进入时，触发内部 MCU 自动截取该数据上传至指定服务器。使用此方式配置无线透明数传模块，可保证数据传输的稳定，高效和可靠性。数据的解析不需要消耗宝贵的片上算力资源，提高了模块整体的稳定性。

云端服务器特定端口接收到上传的数据信号，调用编码好的数据解析模块分析数据包，提取数据包特征码使用 CRC32 算法校验数据，如若数据完整性欠缺则丢弃数据，否则进入下一步 AIS 数据提取阶段；按照 ITU-R M.1371-4 标准，解析器只解析 1（位置报告）、2（位置报告）、3（位置报告）、18（标准的 B 类设备位置报告）、19（扩展的 B 类设备位置报告）并且消息内容部分长度分别为 168、168、168、168（162）、312Bit 的标准信息，再送入消息解析器，解析得到最终包含船舶自身 MMSI（用户 ID）、LATITUDE（纬度）、LONGITUDE（经度）、HDG（实际航向）、SOG（地面航速）、COG（地面航线）等完整的消息，提取指定数据参数，校验参数是否符合当前系统预设规范或船舶航行动态指标，若都满足系统要求，则数据接收工作完成，将数据送入下一分险评估分析阶段。“船舶航行动态数据采集”模块设备局部图局部相片见图 3-7。

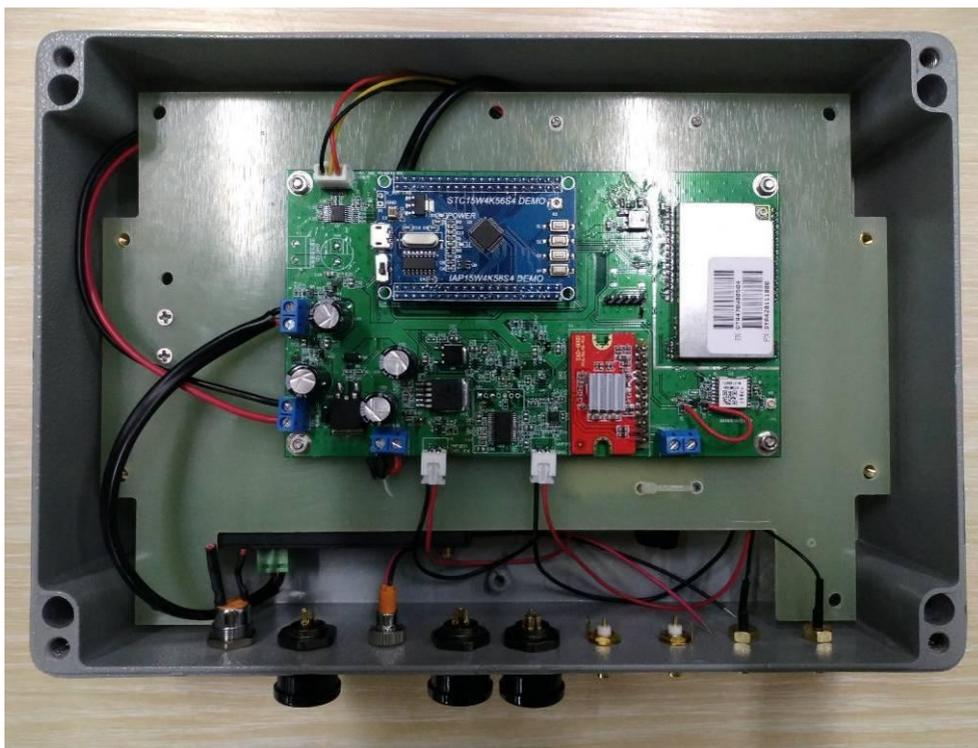


图 3-7 船舶航行动态数据采集模块设备局部图

为了加强数据的安全性，时效性以及便于航标集群的信息化监管。我们选用了 CPU 为 4 核、内存为 8GB、公网带宽为 5Mbps 的操作系统为 Windows Server 2012 R2 数据中心版 64 位中文版的云服务器作为云端管理平台的开发机。此外，还选用了数据输出率为 20Hz 的 UM4B0 北斗芯片作为航标灯的定位模块。

### 3.3 网络层的复合通讯网络设计

本系统构建了“AIS 广播→Lora 网络→NB-IOT”的多级传感网络，对商用移动通信覆盖不到的航道实现监测，侦听到的船舶动态 AIS 数据全部提交至云端。采用经典的物联网三层架构，划分了感知层、网络层和云端应用层，详见图 3-8。

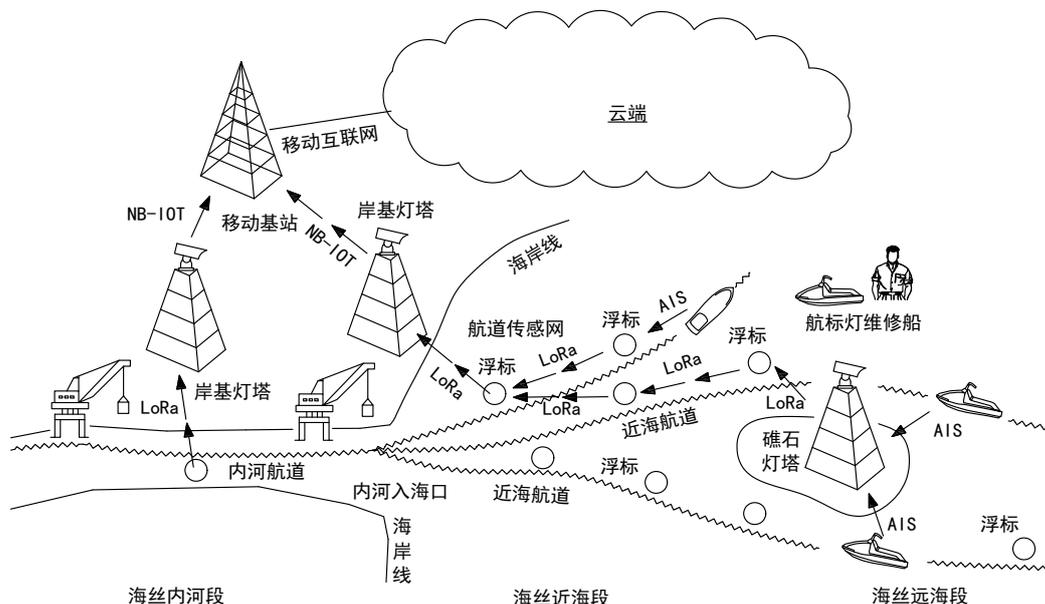


图 3-8 复合通讯网络的构建

在感知层上，每个浮标式航标灯或灯塔式航标灯均内置 AIS 接收器，其中浮标式航标灯因天线短可以侦听 10 海里（18.52km）的过往船舶的 AIS 广播。而灯塔式航标灯因天线长且不受功耗限制，可以侦听 30 海里（55.56km）。

在本设计中，通过 LoRa 技术构建无线传感网。因为网络通讯的复杂性，所以将无线传感网归入网络层，而 2W 的 LoRa 的海平面通讯距离可达 17km，因此考虑到通讯距离的冗余，在海丝航道上每 5km 布置一个智慧浮标。内置 AIS 模块可侦听 18km 内的船舶 AIS 广播，内置 LoRa 模块可与 17km 内的其它浮标组网，这样构成冗余，即使损坏一半的智慧浮标，也能维持传感网的稳定工作。当航道远海段上的过往船舶的 AIS 数据包被逐航标的 LoRa 模块接力送至近海段，在离岸 15Km 的区域内有微弱的商用移动通信的网络信号。虽然手机通话功能还无法稳定工作，但因为 NB-IOT 覆盖范围比传统 GSM 网络好 20db，约为 10 倍的距离，因此 NB-IOT 功能已能正常工作。无需要再用 LoRa 技术接力，改为 NB-IOT 直接把数据送至云端。因为采用两部冗余的方式，NB-IOT 在上传 AIS 数据包时，需要消除从不同浮标上侦听的相同的 AIS 数据包，以降低 NB-IOT 的通讯量。考虑网络的复杂性形成的时间滞后和 AIS 数据广播固有的时隔时长，大约计算出来的船舶位置约为 60s 前的位置。

云端应用层接收到 NB-IOT 模块上报的 AIS 数据，解析出航道上各船舶的坐标和运动趋势，因为网络的复杂性形成的滞后和 AIS 数据广播固有的时隔时长，大约计算出来的船舶位置约为 60s 前的位置，需要通过运动趋势推测当前的实际位置，再通地数学模型计算两两的相撞风险概率。同时判断船舶是否进入危险区域，发出助航信息，告诉船舶驾驶员的有效避险方法。

助航信息及告警信息通过六种方式向外播报，目前设计对船舶提供六种告警方式：1) 船长 APP 告警、2) 电话短信告警、3) 海事卫星电话告警、4) 北斗短报文告警、5) VHF 16 频道无线电台告警、6) 航标自身声光告警。

1、2 方式适合于海丝航道的内河段、港口区和沿海段，该区域为航行事故高发区，因为该区域具有较好的商用移动通信网络，所以采用效率最高的的商用网络做为载体，采用手机 APP 的移动互联网，或 GSM 的电话呼叫及短信发送的方式发出告警信息。

3、4 方式适合备有卫星通讯装置大型商船，大型商船游轮为了保障航行安全，大多都配有支持短报文的北斗终端或卫星电话。云端查询终端号码后，采用卫星通讯的方式发出告警信息。

5、6 两种方式通用于任何环境中，由智慧航标直接发出告警，智慧航标从 LoRa 网络中接收到云端的告警信息，采用无线电和声光两种方式发出告警信息，无需船舶安装特种装备和特定 APP，特别是针对装备简单民间渔船，具有较好的效果。

### 3.4 应用层设计

#### 3.4.1 航标灯自检与维修系统

航标灯自检与维修管理系统应用多种传感器技术对航标灯工作状态自检获得工作参数，并对检测数据计算处理，从而判断航标灯是否发生故障，并通过北斗高精度定位获得故障位置，自动派工维修。

##### (1) 维修管理

用户登录系统后即可打开维修管理页面。在该页面上可以查看到系统的菜单栏信息，包括维修管理、自动检定、功能设置、检定数据以及系统管理。维

修管理包括维修登记和保养派工，用户可以点击进行相应的操作，详情如图 3-9



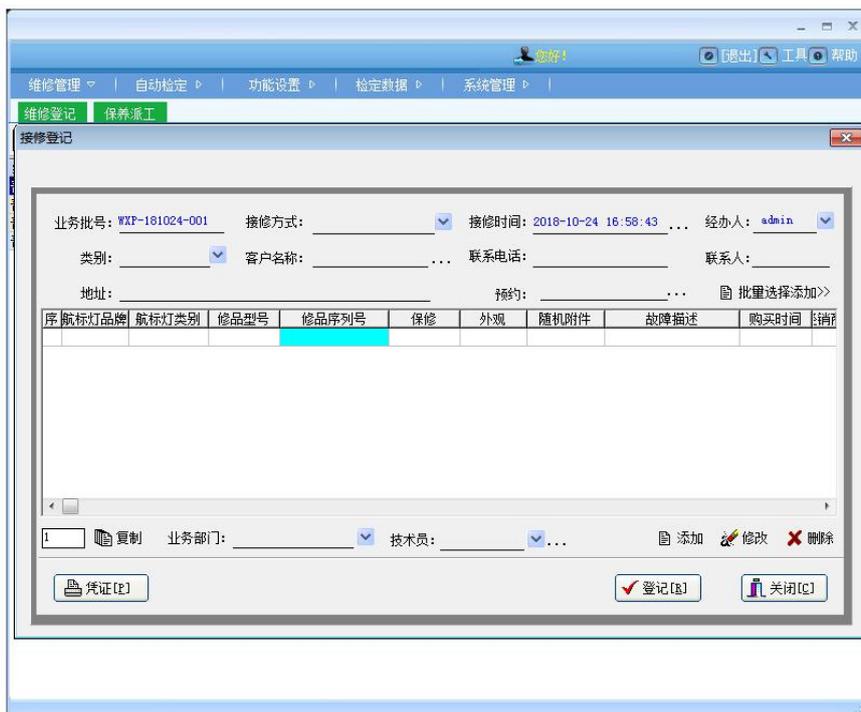
级别	业务编号	已处理	维修状态	客户	联系电话	联系人	型号	序列号	故障	接修日期	保修	接
普通	WX-181024-003	0小时		龙煥发			001			2018-10-24	待检	用
普通	WX-181024-002	0小时		琪琪			001			2018-10-24	待检	用
普通	WX-181024-001	0小时		龙飞			001			2018-10-24	维修保修期	用
普通	WX-180919-001	35天		林欢	15847784541	林欢	001			2018-09-19	合同保修期	用

图 3-9 航标灯维修管理界面

在该页面上用户可以通过模糊进行维修信息的查询，在列表上可以查看到业务编号、处理情况、维修状态、客户、联系电话等信息。

### (2) 维修登记

点击“维修登记”，即可弹出该窗口。在窗口上用户可以进行维修登记的录入，详情如图 3-10 所示：



业务批号:  接修方式:  接修时间:  经办人:

类别:  客户名称:  联系电话:  联系人:

地址:  预约:

序	航标灯品牌	航标灯类别	修品型号	修品序列号	保修	外观	随机附件	故障描述	购买时间	销

业务部门:  技术员:

图 3-10 维修登记界面

维修登记需要用户录入接修方式、接修时间、经办人、类别、航标灯品牌、航标灯类别、外观以及故障描述等信息，信息录入完成后点击“登记”按钮即可自动生成在维修信息库中。在添加过程中可以进行批量选择添加，点击“批量登记”，即可弹出编辑窗口，如图 3-11 所示：

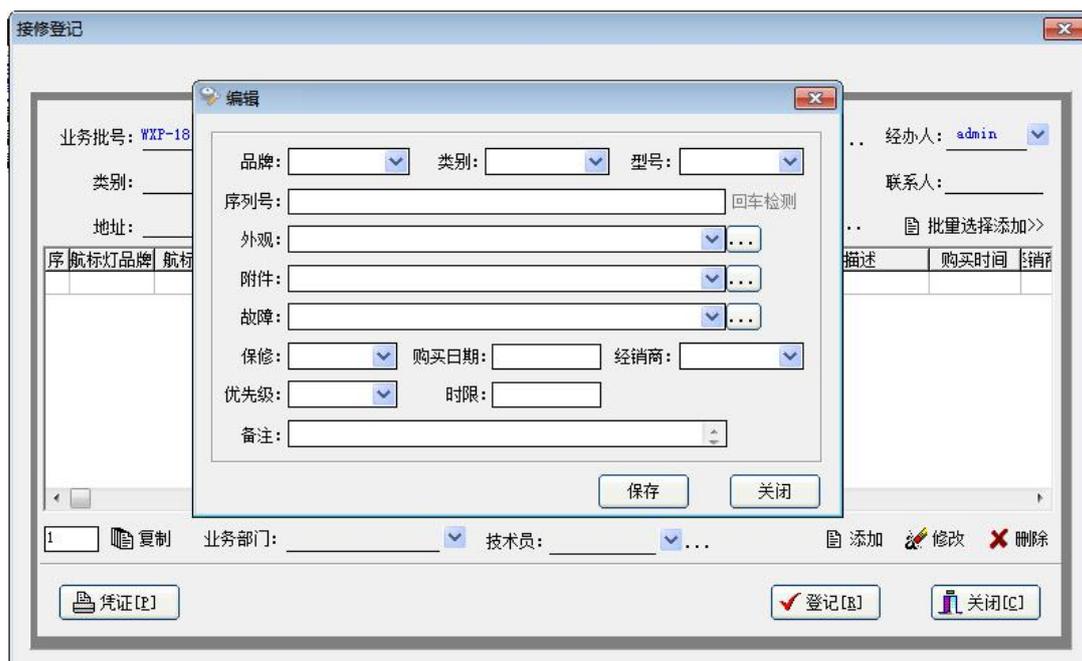


图 3-11 接修登记界面

在编辑窗口上需要完善相关信息，包括品牌、类别、型号、序列号、外观、附件、故障以及优先级等信息，按回车键可以进行自动检测。

### (3) 自动检定

自动检定菜单分为开始检定以及自检规则。选择“开始检定”按钮，即可打开该页面，如图 3-12 所示：

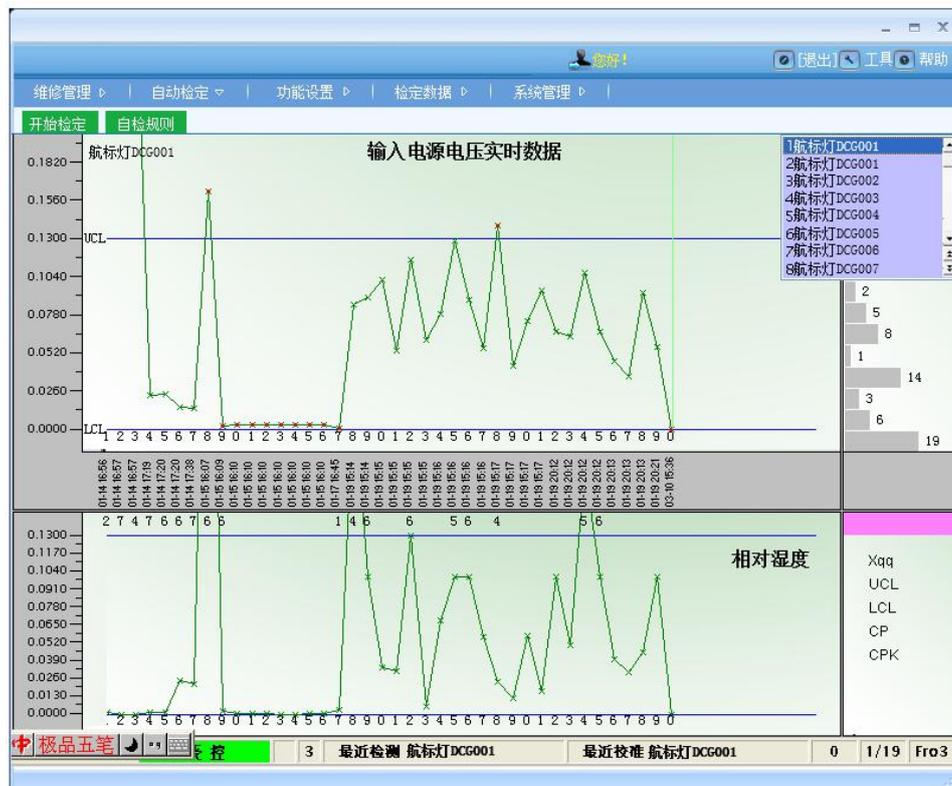


图 3-12 航标灯运营指标监测界面

在该页面上可以通过右侧选择需要检定的航标灯双击即可进行自动检定。在检定过程中可以查看到航标灯输入的电源电压实时数据变化曲线，下方可以

查看到相对湿度信息。检定完成后即可自动弹出自检结果的窗口，如图 3-13 所示：

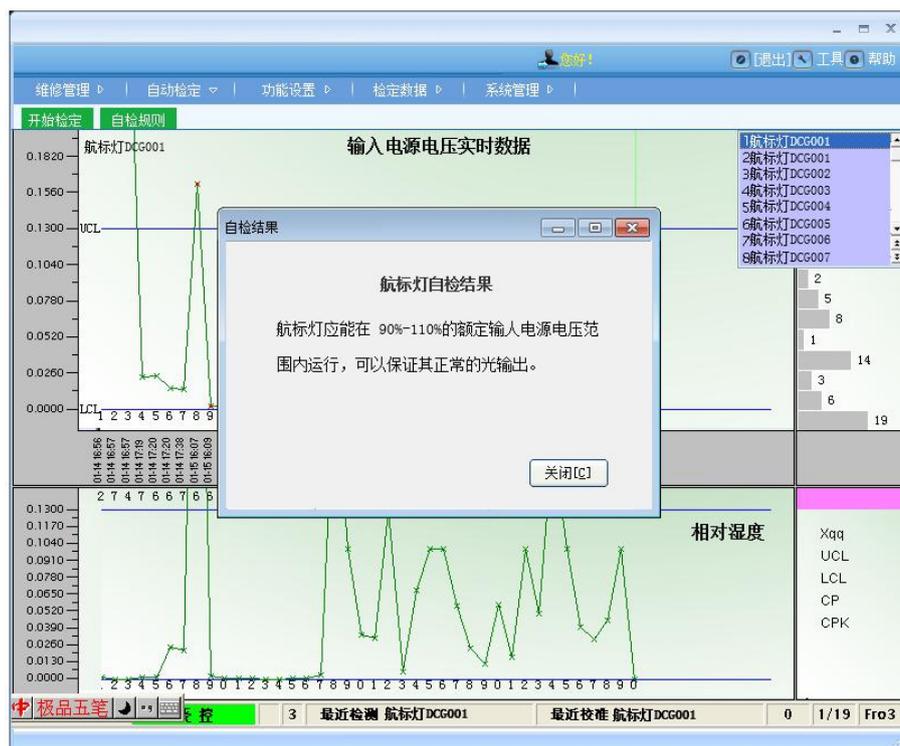


图 3-13 航标灯运营指标自检结论界面

在该窗口上用户可以查看到本次检定的结果信息，点击关闭按钮即可关闭该窗口。

#### (4) 自检规则

点击“自检规则”按钮，即可弹出该窗口。在该窗口上用户可以查看到编辑的强制自检规则信息，如图 3-14 所示：

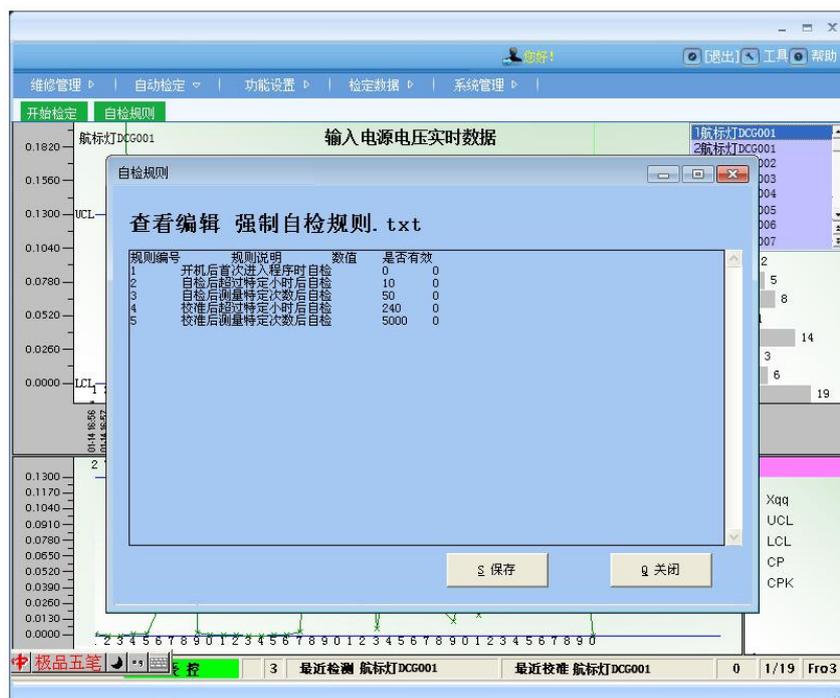


图 3-14 航标灯运营指标定时强制自检设置界面

编辑查看设置系统用到的各个文本文件。不要修改文件的样式。可对是否有效进行修改。（1为有效，0为无效）对数值修改为需要的数量值。

### （5）功能设置

点击“功能设置”菜单，即可打开该页面。功能设置包括界面设置、光柱设置、工件号设置、联网操作以及系统参数，如图 3-15 所示：

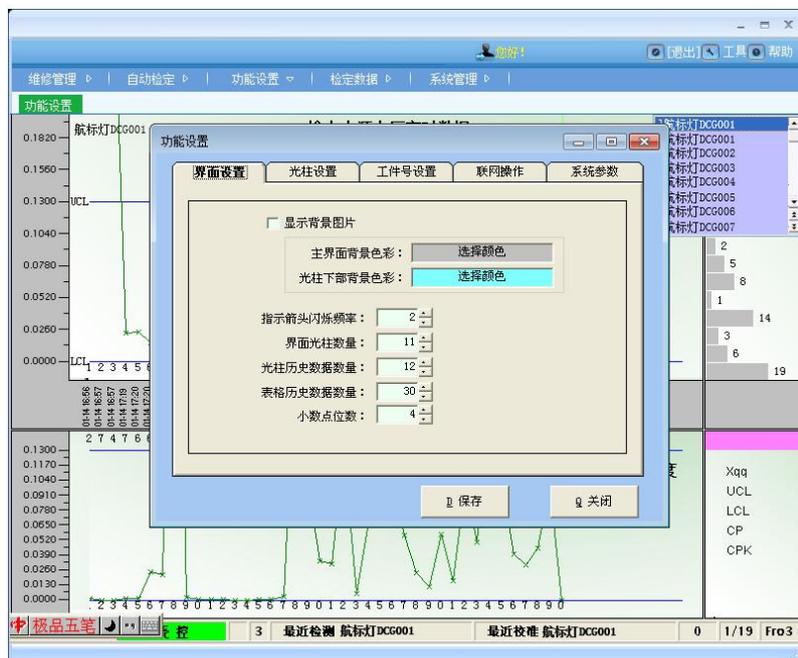


图 3-15 航标灯运营状态设置界面

该界面可以进行界面设置，包括主界面背景颜色、光柱下部背景色彩，指示箭头闪烁频率等信息进行设置。

### （6）工件号设置

点击“工件号设置”按钮，即可切换到该界面。详情如图 3-16 所示：

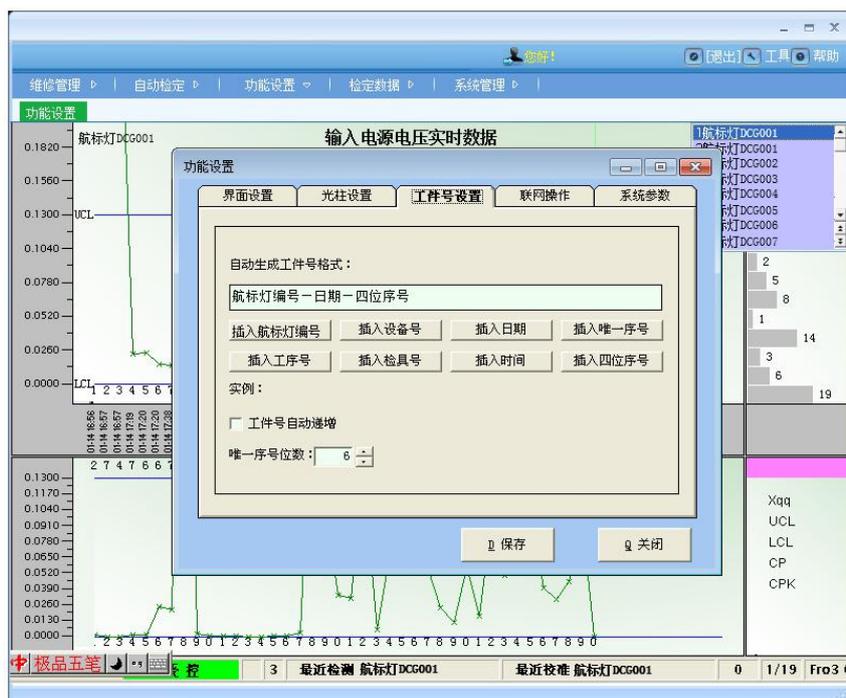


图 3-16 航标灯检测工序号设置界面

工件号设置是针对自动生成工件号的格式进行设置。包括插入航标灯编号、插入设备号、插入日期等信息进行自由设置。

### (7) 检定数据

点击“检定数据”，即可打开检定数据的页面。如图 3-17 所示：



图 3-17 航标灯运营指标报告界面

在该页面上用户可以选择航标灯、自检日期以及检验员对检测的数据信息进行查询。在查询结果上点击打印按钮可以对结果信息进行打印操作。

## 3.4.2 助航信息播报系统

### (1) 系统概述

助航信息播报系统主要包括船舶风险分析评估模块、灯塔助航操作模块，助航数据展示模块，警报信息查询模块，数据存储模块，日志信息模块。通过使用本系统能够智能感知周边水域范围内船舶交通冲突态势的功能，并主动向船舶发出避险助航信息，有效避免附近的船舶航行碰撞、触礁、搁浅等事故的发生。

### (2) 助航数据展示模块

登录系统后，首先展示的是系统的服务天数，已监测的船舶数量，已经发出的警报信息，以及近 24 小时的监测数据，包括上报信息数量，触发警报数量，以及安全通行的数量。详情如图 3-18 所示：



图 3-18 助航数据展示模块

### (3) 灯塔助航操作模块

在此模块中用户可以在海图上查看已经托管的灯塔装置的一二级电子围栏以及设备已经上报的船舶航行的基础数据，在业务模式开启状态下，选中一个航标灯塔，单击，可以显示其基础数据包含：名称、序列号、经纬度、添加时间、描述等。单击船舶可以显示其所在位置，船舶航向、航速、船首向及其所处的危险等级。当船舶进入灯塔危险区域后，灯塔电子围栏会呈现闪烁状态。详情如图 3-19、3-20 所示：



图 3-19 电子围栏报警状态 1



图 3-20 电子围栏报警状态 2

#### (4) 警报信息查询模块

在该页面上用户可输入对应信息进行查询历史警报信息，包含船舶 MMSI 号、所属灯塔、经纬度信息、船舶的名称、航向、船首向、航速、上报时间和其所处的危险等级，针对不同的风险等级，系统会对其不同的着色，可以对结果进行任意排序，是否勾选显示或导出 Excel 和打印等操作。如图 3-21 所示：

MMSI	所属灯塔	经度	纬度	危险等级	船舶名称	航向	船首向	航速	上报
477189100	东高寨灯塔417110635	119.613671986667	26.1336693333333	未进入危险区域		270.2	272	6.5	2018
412440654	东高寨灯塔417110635	119.56228	26.1325933333333	未进入危险区域		259.2	511	0	2018
413425240	东高寨灯塔417110635	119.47112	25.9832086666667	未进入危险区域		346.8	223	0.1	2018
4130465040	东高寨灯塔417110635	119.509613333333	26.0831433333333	未进入危险区域		360	511	0	2018
412440654	东高寨灯塔417110635	119.56228	26.13232	未进入危险区域		259.2	511	0	2018
413090270	东高寨灯塔417110635	119.5640050000007	26.1284960000007	未进入危险区域		142.8	511	0	2018
414023000	东高寨灯塔417110635	119.50089	26.06408	未进入危险区域		229.3	5	0.1	2018
413040040	东高寨灯塔417110635	119.5098	26.0631483333333	未进入危险区域		360	511	0	2018
413426910	东高寨灯塔417110635	119.607673333333	26.1422633333333	未进入危险区域		322.7	511	0	2018
413008208	东高寨灯塔417110635	119.489546666667	25.9914083333333	未进入危险区域		42.2	511	23	2018
412440513	东高寨灯塔417110635	181	91	未进入危险区域		360	511	102.3	2018

图 3-21 航道监控信息界面 1

### 3.4.3 航行风险评估系统

#### (1) 风险区域的设定

为实现系统管理员更简易的设置灯塔的位置和风险区域的划定，基于北斗高精度模块，针对开发了综合测距模块，无需到现场就可以实现两地的距离方位的精确测定，极大节省开支。航行风险可视化界面图见图 3-22。



图 3-22 航行风险可视化界面

## (2) 风险船舶的评估

选中一个灯浮标，双击，点击以下界面，分析该海域的船舶航行状态，操作如图 3-23 所示。

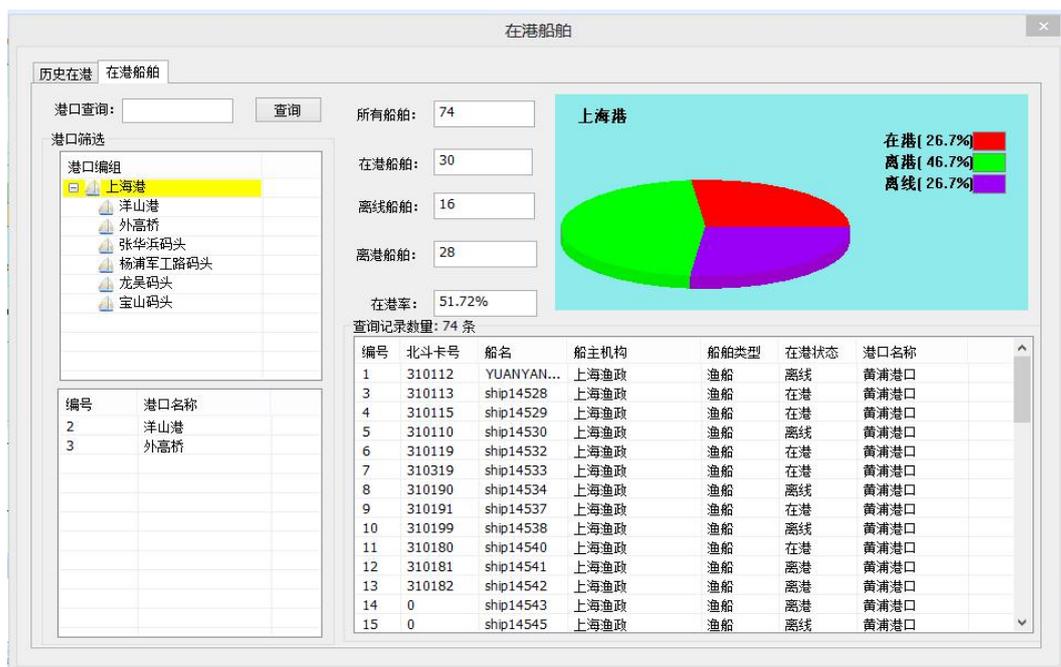


图 3-23 船舶航行状态分析界面

在该页面上用户可以根据需要录入需要进行碰撞风险概率评估的船舶信息，主要包括船名、总吨、净吨、载重吨等信息，详情如图 3-24 所示：



图 3-24 船舶安全证书检索界面

在该页面上双击列表信息，即可弹出修改页面，用户可以根据实际情况进行船舶信息的修改。下方可以查看到证书信息。点击右上角的“增加”按钮，即可弹出新增船舶信息的页面，用户录入相关信息进行新增。

点击“概率评估→输入数据”，在该页面上用户需要输入需要模拟的船舶信息，包括垂线间长、设计水线长、型宽、水线面系数等信息，录入完成后可自动在下方查看到校对数据、数值范围以及计算结果等信息。

### (3) 航道交通风险的评估

智慧航标灯通过检测浪高反推风力，再加上对交通冲突的等因子的综合考量，可以评价航道的交通风险。图 3-25 是仿真计算后，获得的台风天气下的珠江水系内河航道的交通风险评价图。

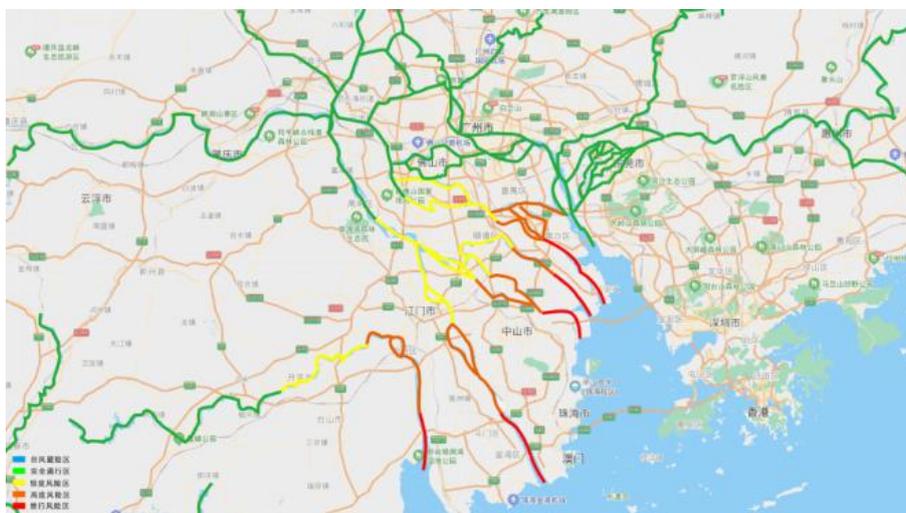


图 3-25 珠江水系的内河航道交通风险评价

红色为禁行风险区、橙色为高度风险区、黄色为轻度风险区、绿色为安全通行区。航道交通风险评估，将能更好地指导恶劣天气下的水运物流作业。

#### (4) 交通风险评价模块

智慧航标灯集成了多种传感器，并通过北斗差分定位检测出真实浪高和洋流飘流方向，因此可以得到比卫星宏观数据更加精细的数据，为每一艘船舶量身定制最优的安全驾驶策略。基于北斗的智慧灯浮标检测浪高的原理图见图 3-26。

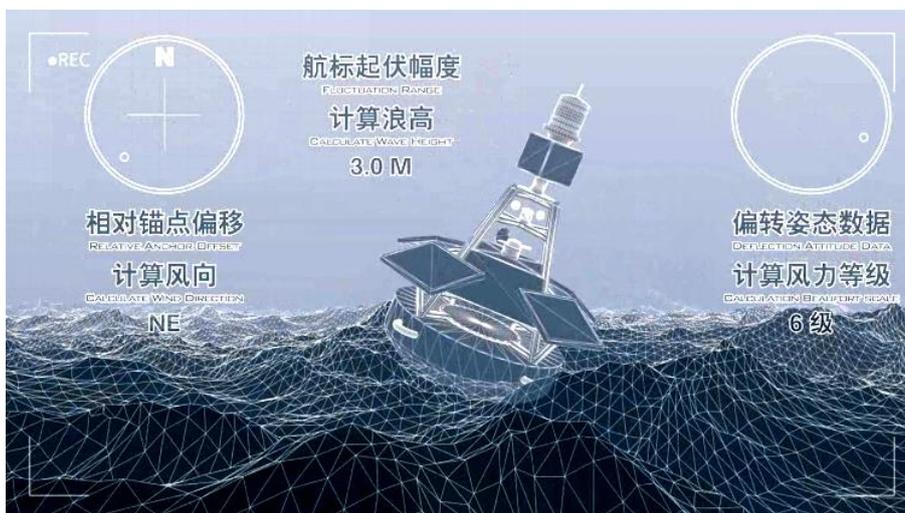


图 3-26 基于北斗的智慧灯浮标检测浪高的原理图

北斗差分定位测量的最大高程差为浪高，测量的与原始锚点偏移方向为风向。在数学模型计算下可通过浪高反推台风风速。从而在复杂的港口水域中找到合适的台风避风区域。

智慧航标灯是实时监测，而气象卫星是宏观预测，两者各有特点和优势。所以我们对智慧航标灯做出未来展望，智慧航标灯与气象卫星数据结合，通过数学模型或经验公式建立两者的推导关系，从而实现更加精细准确的预测。

#### 3.4.4 航行应急搜救系统

本系统利用北斗卫星导航系统先进的精准定位、授时与短报文技术，结合 AIS 技术设计了智慧搜救功能。联合国搜救系统 COSPAS-SARSAT 与北斗中轨搜救系统，实现救援信息双向链路的送达与全球性的覆盖。运用北斗特色的反向链路技术，实现从内河航运到远海航行船舶报警信息的双向确认。

当船舶遇险时，内河航道和近海由北斗终端设备可直接向北斗卫星发射求救信号，远海地区船舶 AIS 设备通过 AIS 的安全相关广播消息以高优先级和最小的延迟向其他成员自动广播与安全有关的短消息，以及向航标灯发射报警信号。此时距离最近且转发指示符为一的航标灯上 AIS 设备接收和处理由其他船载台等传送来的船舶报警和状态信息指示。航标灯接收到报警信号的数据包后发送给北斗中轨搜救系统后，将告警信息发送至中国海上搜救中心，搜救中心对其数据进行收集、整理、存储、分类、模糊度处理，在核实遇险信息后，就近通知当地救捞机构实施搜救。此外，北斗短报文也具有相同的搜救功能，可以告知求援人员救援部门已收到求救信息，并正加紧前往目的地实施救援工作，增加人员生还信心。两套搜救系统能免费为全世界用户提供服务，这是北斗系统的新贡献。

本设计的创新点在于北斗系统将与其他卫星导航系统共同组成全球中轨搜救系统，能够实现搜救服务的全球化、国际化。同时提供反向链路，极大提升搜救能力和效率。若求援信号由境外卫星接收，那么也能够通过星间链路将信号转发至境内卫星，此时进行搜救信号的确认及真实性判别。信息确认不仅依靠短报文内含的时间位置相关信息，同时航行风险评估系统能够辅助进行判断，根据海图及历史航行轨迹确认失事原因，以便快速展开正确的搜救工作。

## 4 数学模型

### 4.1 避碰算法的研究

#### (1) 模糊四元船舶领域模型

模糊四元法指出，船舶领域与船只大小成正比，与船速也具有一定关系。根据模糊 QSD 模型，设  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  分别为水平方向上四元船舶最小安全领域的纵向船前半径、纵向船后半径、横向船左半径以及横向船右半径， $L$  为船长， $A$  为船舶进距， $D$  为船舶回转半径， $V$  为船速， $sgn(x)$  和  $sgn(y)$  分别为  $x$  和  $y$  的符号判定函数，并增加辅助参数  $k_1$ 、 $k_2$ 。其中辅助参数分别与船舶进距、船舶回旋半径、船长以及船速相关。取值如式 (4-1) 示：

$$\begin{cases} k_1 = \frac{A}{L} = 10^{0.3591lgV+0.0952} \\ k_2 = \frac{D}{L} = 10^{0.5441lgV-0.0795} \end{cases} \quad (4-1)$$

则船舶最小安全领域半径取值如式 (4-2) 所示：

$$\begin{cases} R_1 = (1 + 1.34 \sqrt{k_1^2 + (\frac{k_2}{2})^2})L \\ R_2 = (1 + 0.67 \sqrt{k_1^2 + (\frac{k_2}{2})^2})L \\ R_3 = (0.2 + k_1)L \\ R_4 = (0.2 + 0.75k_1)L \end{cases} \quad (4-2)$$

水平方向上四元船舶最小安全领域近似于椭圆，在模糊四元船舶最小安全领域  $f(x,y)$  内，船舶存在紧急碰撞危险，拒绝其他船舶进入。可建立边界函数  $f(x,y)$  如式 (4-3) 所示：

$$f(x,y) = \left( \frac{2x}{(1+sgn(x))R_1 - (1-sgn(x))R_2} \right)^2 + \left( \frac{2y}{(1+sgn(y))R_3 - (1-sgn(y))R_4} \right)^2 \quad (4-3)$$

其中，

$$sgn(x) = \begin{cases} -1, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (4-4)$$

$$\text{sgn}(y) = \begin{cases} -1, & y < 0 \\ 1, & y \geq 0 \end{cases} \quad (4-5)$$

### (2) 三维船舶最小安全领域模型

最小安全领域指，当船舶附近出现其他船舶、暗礁等物体时，该船舶会接收到来自云端的安全警报，要求船舶小心执行避险动作的最小领域范围。

三维船舶最小安全领域垂直方向上为船舶高度 $H$ ，包括水平面上的船舶高度 $h_1$ 以及水平面下船舶吃水深度 $h_2$ 。则可得三维船舶最小安全领域在坐标轴垂直方向的纵面方程如式（4-6）所示：

$$-h_2 \leq H \leq h_1 \quad (4-6)$$

因此可确定四元船舶最小安全领域的三维动态方程式如式（4-7）所示：

$$\begin{cases} f(x, y) = \left( \frac{2x}{(1+\text{sgn}(x))R_1 - (1-\text{sgn}(x))R_2} \right)^2 + \left( \frac{2y}{(1+\text{sgn}(y))R_3 - (1-\text{sgn}(y))R_4} \right)^2 \\ -h_2 \leq H \leq h_1 \end{cases} \quad (4-7)$$

其中，符号判定函数 $\text{sgn}(x)$ 和 $\text{sgn}(y)$ 取值范围为式（4-4）、（4-5）。

### (3) 三维船舶交通冲突预警领域空间模型

交通冲突预警领域指，当船舶附近出现其他船舶、暗礁等物体时，该船舶会接收到来自云端的预警警告，提示船舶避险。

设船舶交通冲突预警领域为 $f_1(x, y)$ ，船舶与障碍物之间距离为 $d$ ，在 $d \geq 2f(x, y)$ 时，船舶不需采取避碰行动，可安全通过。则船舶交通冲突预警领域 $f_1(x, y)$ 的边界函数表达式如式（4-8）所示：

$$f_1(x, y) = 2f(x, y) \quad (4-8)$$

三维船舶交通冲突预警领域垂直方向上总高度 $H'$ 包括水上所需高度 $H_{up}$ 以及水下所需深度 $H_{down}$ ，即包括水平面上的船舶高度 $h_1$ 、水平面下船舶吃水深度 $h_2$ 、超过船舶高度的安全余量 $s_1$ 以及水下富余水深 $s_2$ 。则可分别确定水上高度 $H_{up}$ 以及水下深度 $H_{down}$ 如式（4-9）和（4-10）所示。

$$H_{up} = h_1 + s_1 \quad (4-9)$$

$$H_{down} = h_2 + s_2 \quad (4-10)$$

则可得船舶交通冲突预警领域坐标轴竖直方向的纵面方程如式(4-11)所示。

$$-h_2 - s_2 \leq H' \leq h_1 + s_1 \quad (4-11)$$

因此船舶交通冲突预警领域的三维动态方程如式(4-12)所示：

$$\begin{cases} f'(x, y) = 2 \left[ \left( \frac{2x}{(1+sgn(x))R_1 - (1-sgn(x))R_2} \right)^2 + \left( \frac{2y}{(1+sgn(y))R_3 - (1-sgn(y))R_4} \right)^2 \right] \\ -h_2 - s_2 \leq H' \leq h_1 + s_1 \end{cases} \quad (4-12)$$

其中，

$$sgn(x) = \begin{cases} -1, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (4-13)$$

$$sgn(y) = \begin{cases} -1, & y < 0 \\ 1, & y \geq 0 \end{cases} \quad (4-14)$$

#### 4) 实例计算

根据中国福建省福州市马尾区东高寨灯桩现场实测数据，取船长 $L$ 为1链（一链约为十分之一海里），船速取15kn，利用Mathematica软件计算可得：

$$\text{辅助参数: } \begin{cases} K_1 = 3.29257 \\ K_2 = 5.24096 \end{cases}$$

表 4-1 水平方向船舶最小安全领域及交通冲突预警领域相关数据

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
水平方向三维船舶最小安全领域空间	0.663882	0.381941	0.349527	0.266942
水平方向船舶交通冲突预警领域空间	1.327764	0.763882	0.699054	0.533884

在基于模糊四元法的三维船舶最小安全领域空间模型的水平投影上，船舶交通冲突预警领域与船舶最小安全领域关系如图4-1所示。

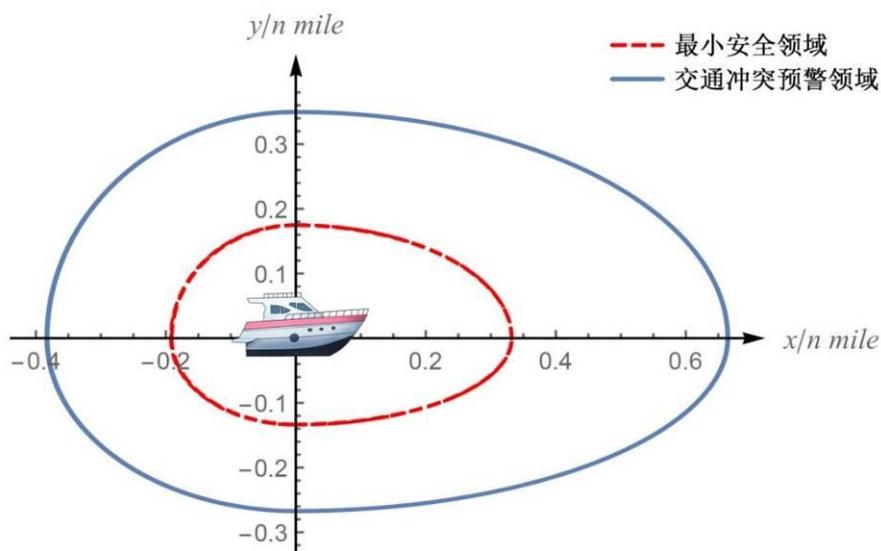


图 4-1 交通冲突预警领域与最小安全领域水平投影关系图

当计算发现船船、船礁位置落在预警领域区内，则云端向船舶发出预警警报提示避险；当计算发现船船、船礁之间位置落在预警领域区内最小安全领域区内，则向船舶发出安全警报，要求小心执行避险动作。

#### 4.2 有效波高反推实际风速

通过北斗差分定位检测有效波高，通过对有效波高与有效波周期之间用最小二乘法拟合得到

$$T_{1/3} = 5.15H_{1/3}^{0.46[12]} \quad (4-15)$$

由上式得到有效波周期

实际风速、有效波高和有效波周期三者之间的关系满足下式

$$\frac{gT_{1/3}}{U} = c(1)\left(\frac{gH_{1/3}}{U^2}\right)^{c(2)} [12] \quad (4-16)$$

式中： $U$ 为风速， $T_{1/3}$ 为有效波周期， $H_{1/3}$ 为有效波高， $c(1)$ 、 $c(2)$ 为系数值，通过在福建莆田的试验得到  $c(1)=17.64$ ， $c(2)=0.67[12]$

故推算得出实际风速。

基于上述原理，我们开发了“交通风险评价”模块，利用“物流装备三维仿真及动画演示系统”仿真计算获得了台风天气下的珠江水系的蛇口港交通风险分级热力图（图 4-2）、广州港南沙港区交通风险分级热力图（图 4-3），交通风险等级图例见图 4-4。该“物流装备三维仿真及动画演示系统”已获软件著作权。波浪数据是由智慧航标灯测量所得，风速风向数据是由风速风向仪测量所得，计算值的平均相对偏差为 6.97%。

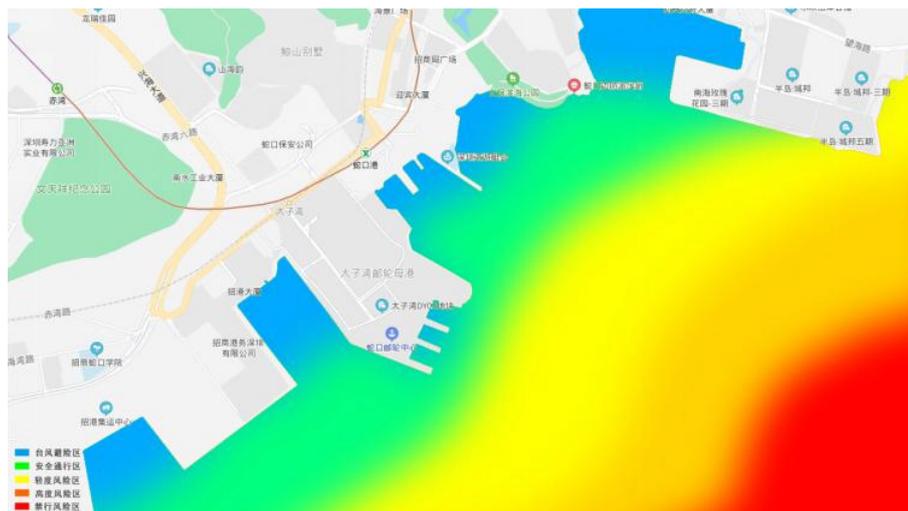


图 4-2 蛇口港交通风险分级热力图



图 4-3 广州港南沙港区交通风险分级热力图



图 4-4 交通风险分级图例

## 5 创新特色

北斗三号作为我国卫星导航系统建设“三步走”战略的最后一步，与北斗二号相比不是简单迭代更新，而是巨大的历史性跨越。不仅在广域增强服务、全球短报文服务、搜索救援服务等方面都形成了鲜明的北斗特色，而且在系统信号性能、系统传输和测距性能等方面实现了全球导航卫星系统技术的局部领先。特别，本项目还应用北斗三号的定位、导航、授时、短报文与搜救功能，还提

出了数字海丝的构建蓝图。我们相信带有中国鲜明特色的北斗技术应用、数字海丝建设，符合国家“科技发展主动权”、“一带一路”战略需要，因此本课题符合国家发展趋势，抢先占领了制高点。

创新点总结如下：

1) 在智慧航标灯上集成北斗+AIS，可接收船舶发出的 AIS 广播，感知船舶的位置及运动状态。

2) 在 AIS 海图上，前后北斗浮标构成航线趋势线，起到北斗精准导航的作用。

3) 利用北斗授时功能，实现了海丝航道监管网络时钟同步，提高监控精度。

4) 构建无线传感网络，实现了多种船舶感知手段，使远海区域的搜救信号的成功送达。

5) 设计北斗短报文等六种告警方式，及时引导船舶避险。

6) 通过北斗差分定位，通过浪高反推台风风速，在台风天气中指导入港船舶及时避险。

7) 运用北斗特色的反向链路技术和中轨搜救功能，极大提升了搜救成功率和效率。

### 参考文献

- [1] 石顺锋. 智慧航标系统设计[J]. 数字通信世界, 2015 (06): 35-37.
- [2] 金月. 数字航道运维服务系统中的航标数据分析与应用[D]. 重庆大学, 2018: 9-10.
- [3] 刘临雄. 远程遥控遥测技术在贵梧航道航标管理中的应用[J]. 西部交通科技, 2019 (07): 181-183.
- [4] 竺国大. 基于北斗的航海保障综合助导航系统的研究[J]. 中国水运, 2017,17 (12) : 94-95.
- [5] 苏建. 无人机在航标巡检中的应用和展望[J]. 中国水运, 2019 (10) : 41-42.
- [6] Spalding J-W, Shea K-M, Lewandowski M-J. Intelligent Waterway System and the Waterway Information Network[C]. The Institute of Navigation National Technical Meeting, 2002: 487-495.
- [7] European Commission. Final Report of INDRIS[R]. European Commission, Brussels, 2000.
- [8] Klyuev V, Kolosov M. Providing sustainable and safe navigation on the inland lock waterways[C]. 30th PIANC-AIPCN Congress 2002, 2002: 1051-1056.
- [9] Hata K, Fukuto J, Hasegawa K, et al. Evaluation of AIS communication using AIS simulator – influence of installation condition for class B AIS-[J]. Journal of Japan Institute of Navigation, 2007: 27-33.
- [10] 雷洪,郑佳春,黄娜娜,等.基于 IsatData Pro 卫星通信的船舶跟踪与监测系统[J].中国航海,2015,38 (01):9-13.
- [11] Bruschi S, Lehner S, Fritz T, et al. Ship surveillance with TerraSAR-X (Article)[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011 (No.3): 1092-1103.
- [12] 杨斌,冯卫兵,虞丹君.江苏辐射沙洲北部海域风浪关系分析[J].水道港口,2014,35 (06):578-581.

## 附件一 田野调查

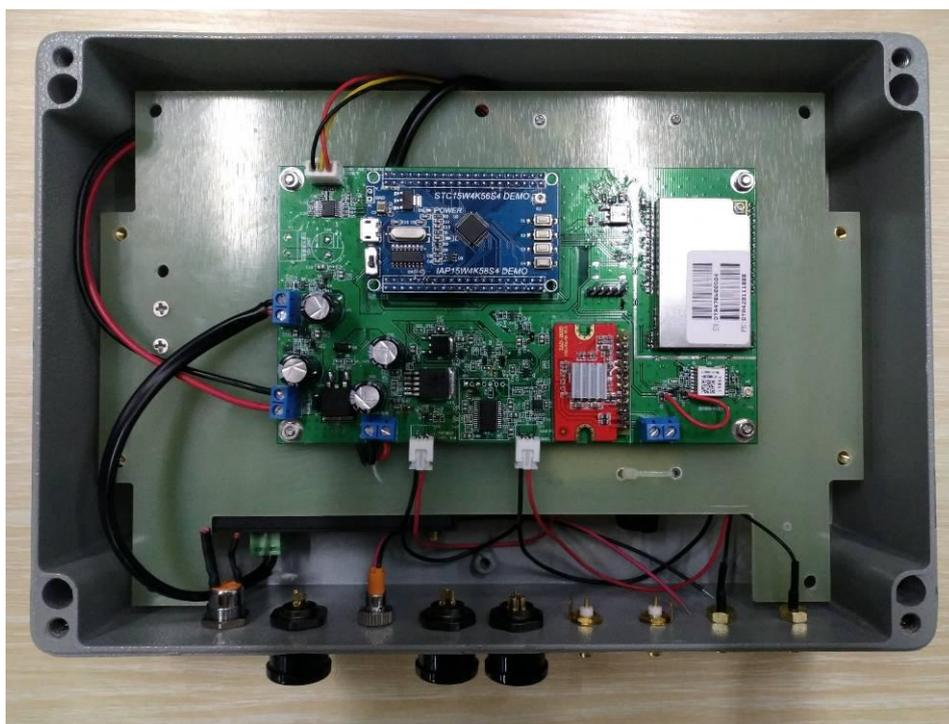


接收自主研发的智慧航标灯遥测数据（采集 AIS 数据包）



珠江水系航道调研

## 附件二 系统实物相片



船舶航行动态数据采集模块



航标灯内置原型机



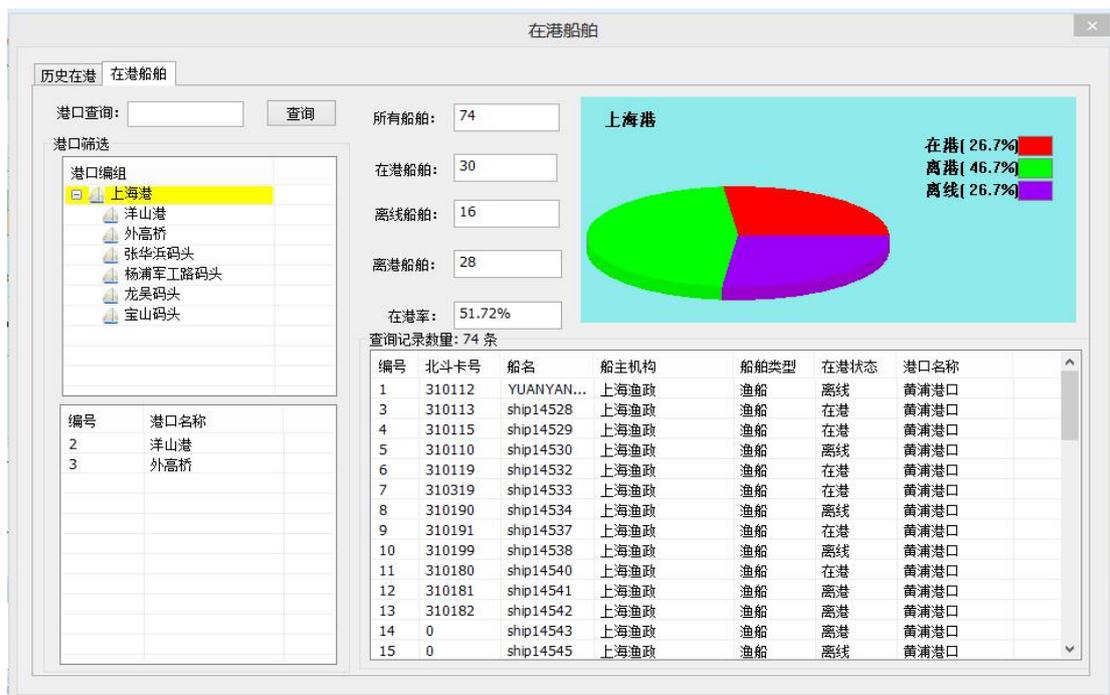
原型机外部设备扩展口



AIS 终端



VHF 甚高频电台设备



船舶航行状态分析界面

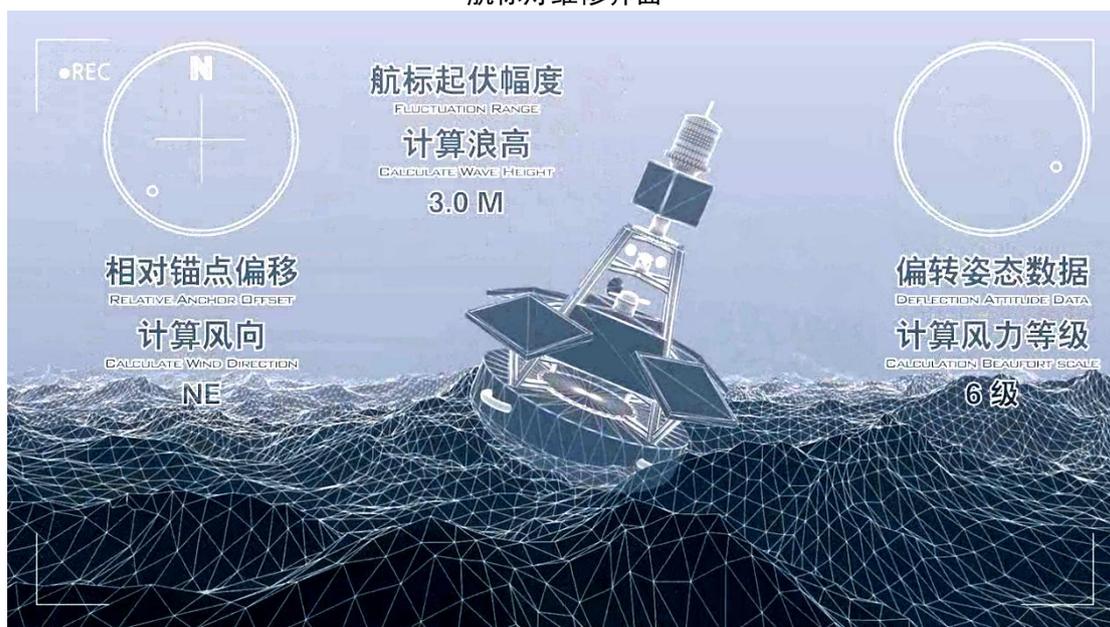
维修管理 | 自动检定 | 功能设置 | 检定数据 | 系统管理

维修登记 保养派工

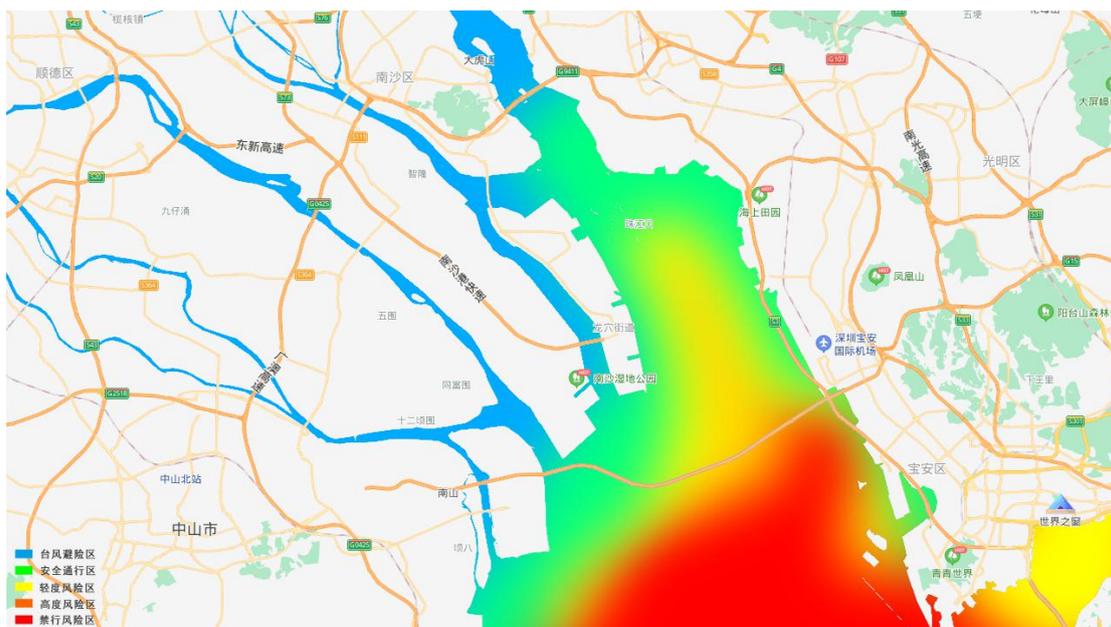
模糊查询  不限制维修状态 查询

级别	业务编号	已处理	维修状态	客户	联系电话	联系人	型号	序列号	故障	接修日期	保修	接
普通	WX-181024-003	0小时		龙焕发			001			2018-10-24	待检	用户
普通	WX-181024-002	0小时		琪琪			001			2018-10-24	待检	用户
普通	WX-181024-001	0小时		龙飞			001			2018-10-24	维修保养期	用户
普通	WX-180919-001	35天		林欢	15847784541	林欢	001			2018-09-19	合同保修期	用户

航标灯维修界面



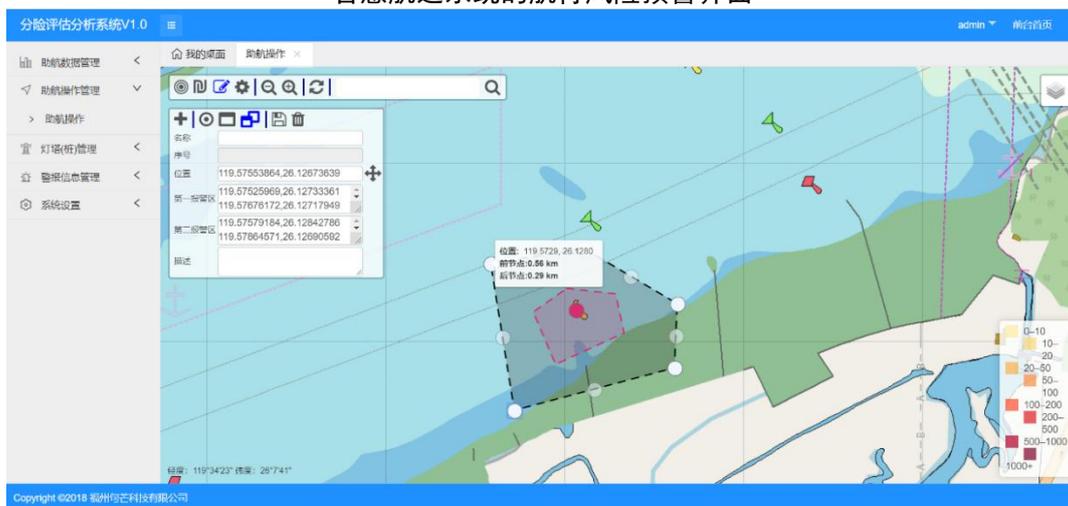
智慧灯浮标检测浪高反推风力的原理图



智慧港口系统的港口交通风险评价（可寻找台风天气下的避险区）



智慧航运系统的航行风险预警界面



智慧航运系统的航行风险可视化界面

### 附件三 本团队已获得的知识产权



- (1) 物流装备三维仿真及动画演示系统 V1.0[CP / CD]. 著作权登记号：2020SR0907924.



(2) 基于北斗的海上丝绸之路航道监管系统 V1.0[CP / CD]. 著作权登记号：  
2020SR0902489.

## 附件四 生产实测

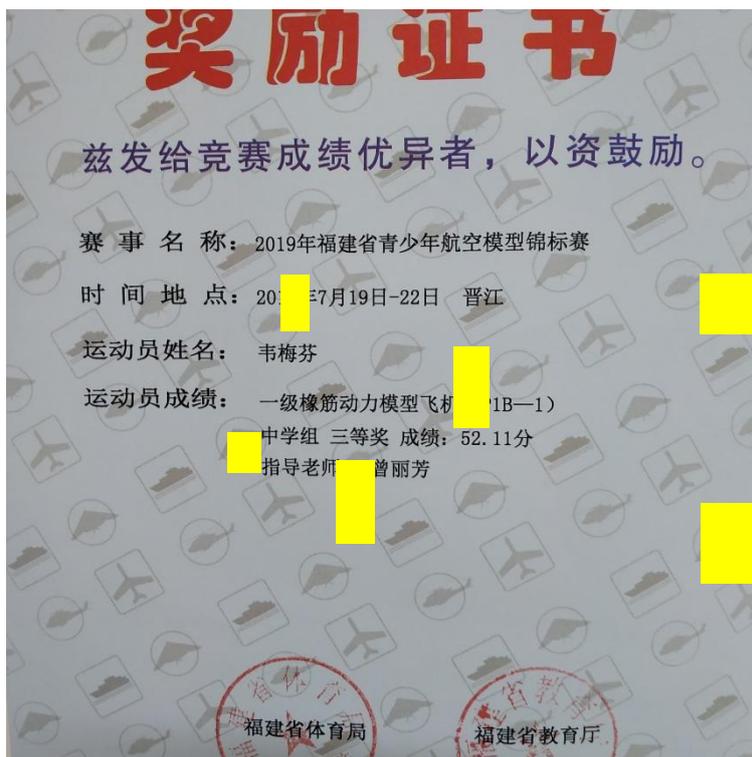


东高寨灯桩现场测试



生产实测场景 1

附件五 项目负责人在航海模上的竞赛成果



省青少年航空模型锦标赛一级橡筋动力模型飞机中学组三等奖



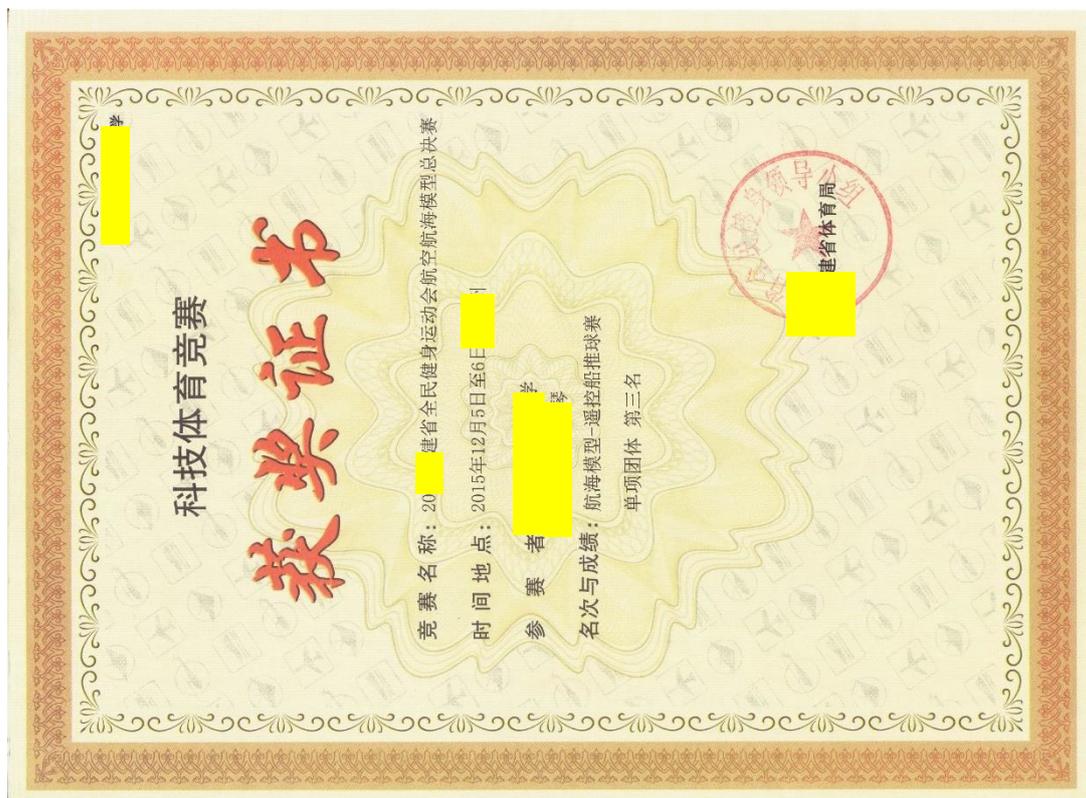
省全民健身运动会航海模型比赛遥控帆船绕标赛中学女子组第二名



省全民健身运动会航空模型比赛“空中战士II”线操纵飞机积分赛中学组  
第三名



省青少年航空模型锦标赛无级别电动模型直升机障碍飞行中学组第四名



省全民健身运动会航空航海模型总决赛航海模型遥控船推球赛单项团体第三名

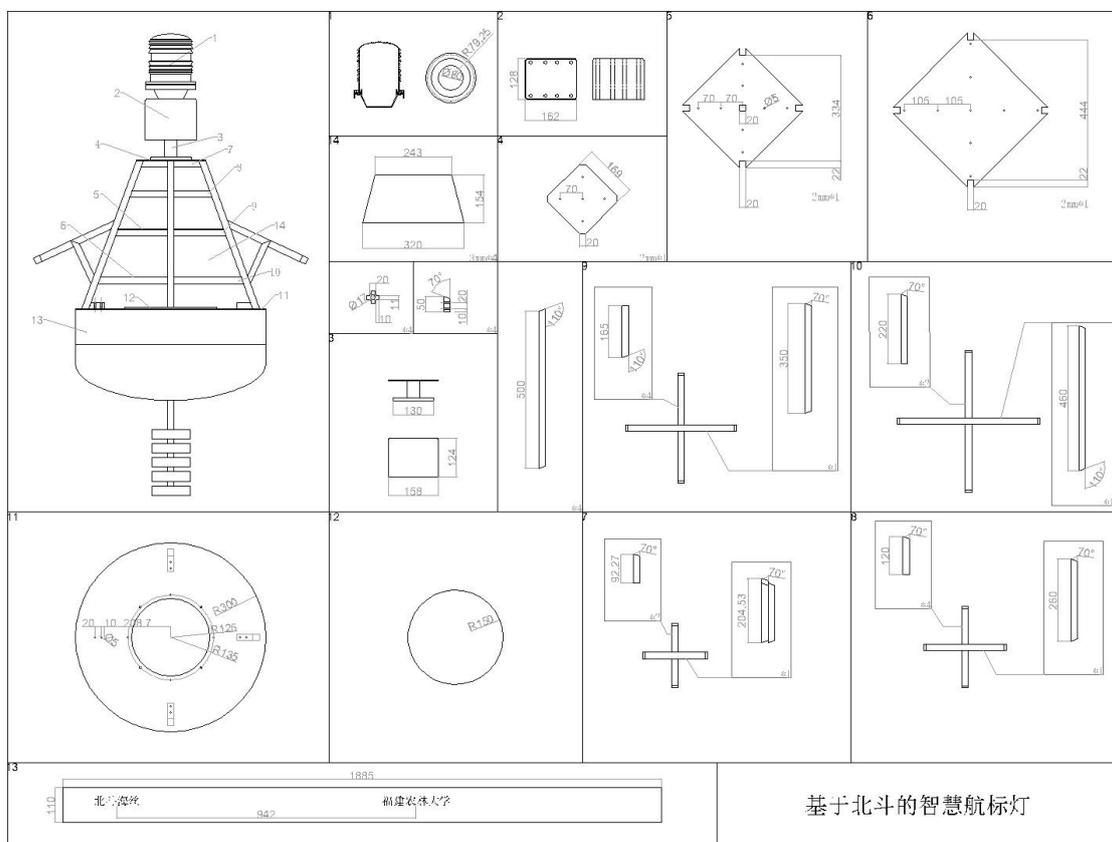


省全民健身运动会航空航海模型总决赛航海模型-遥控竞速艇追逐赛亲情组  
第五名



省青少年航海模型锦标赛“自由号”遥控游艇模型环游赛 中学女子组 第四名

附件六 设计图纸



基于北斗的智慧航标灯

## 绿向标-基于北斗综合服务的可预约智能无人充电桩系统

作者：万宇杰、谭俊伟

指导教师：向诚、李婷

学校：中南林业科技大学涉外学院

**【摘要】**随着新能源汽车产业的迅猛发展，充电桩作为其配套设施随之激增，但大多数用户对现有充电桩的体验并不是很理想，普遍存在找充电桩难、或好不容易找到充电桩却发现充电车位或充电枪（端口）被占、运维差等实际问题。随着 AI 和 5G 技术日益成熟，越来越多的无人驾驶电动汽车走上街头，我国从国家层面把充电桩建设纳入为新基建，使得新能源汽车自主充电，全程无人操作成为可能。针对这一实际，本组研究设计一种基于北斗综合服务的可预约智能无人充电桩系统。该充电桩采用嵌入式 STM32 为核心的参数检测系统（下位机），以智能手机为控制端（上位机）；采用 WIFI 无线网络通信。利用北斗导航系统精准定位充电桩位置和预约车位并引导车辆充电，自动记录占用车位数和空闲车位数等各种参数，并联动地锁，避免非预约车占用车位。通过智能手机 APP 可实时预约充电车位、查询预约情况、计费付费；还可分时预约排队。系统使用红外-超声波定位机械臂自动插入充电口切换充电，并对系统使用情况和不同区域车辆充电频次进行记录并上传云端。在因天气恶劣、地质灾害造成的通信障碍时还可通过北斗短报文服务发送重要讯息，便于工作人员对充电桩进行分区管理并实现远程操控和维护检查。

该可预约充电桩可实现多台车分时共享，既优化了用户体验，又能实现全程无人干预操作，在节约建设成本的同时，实现了充电桩利用率的最大化。

**【关键词】**北斗定位导航，北斗短报文，智能充电桩，分时预约，无人驾驶

**【 Abstract 】** With the rapid development of the new energy automobile industry, the charging pile as its supporting facilities has increased rapidly. However, most users' experience of the existing charging piles is not ideal. There are many practical problems such as finding charging piles difficult or finding charging piles difficult, but finding charging car spaces or charging guns (end ports) occupied poor operation and maintenance. With the development of AI and 5g technology, more and more driverless electric vehicles are on the street. China has incorporated the construction of charging piles into new infrastructure from the national level, which makes it possible for new energy vehicles to charge independently and operate without anyone in the whole process. In view of this reality, this group studies and designs a reservation intelligent unmanned charging pile system based on Beidou integrated service. The charging pile adopts embedded STM32 as the core of the parameter detection system (lower computer), smartphone as the control end (upper computer), and WiFi wireless network communication. The Beidou navigation system is used to accurately locate the charging pile position and reserved parking space, guide the vehicle to charge, automatically record the number of occupied parking spaces and free parking spaces and other parameters, and linkage to lock, so as to avoid nonreserved vehicles occupying parking spaces. Through the smartphone app, you can make real-time reservations of charging parking space, query the reservation

status, charge, and pay; you can also make time-sharing appointments and queue up. The system uses the infrared ultrasonic positioning manipulator to automatically insert into the charging port to switch charging, and records the system usage and charging frequency of vehicles in different regions, and uploads them to the cloud. In case of communication obstacles caused by severe weather and geological disasters, important messages can be sent through Beidou short message service, which is convenient for the staff to partition the charging pile and realize remote control and maintenance inspection.

The reserved charging pile can realize time-sharing of multiple vehicles, which not only optimizes the user experience but also realizes the whole process of unattended operation. At the same time, it can save the construction cost and maximize the utilization rate of the charging pile.

**【 Key words 】** Beidou Positioning and navigation, Beidou short message service, Intelligent charging point, time-sharing appointment, Driverless

---

## 1 国内外发展现状（项目相关技术）

### 1.1 国内现状分析

截至 2020 年 9 月，中国电动充电基础设施促进联盟成员单位总计上报公共类充电桩 60.6 万台。在万物智能互联的时代大背景下，充电桩的智能化发展要求越来越高。传统充电桩单纯关注充电和支付，操作复杂，无相关 APP 查看充电桩相关状态和信息，无法将车辆 BMS 模块的充电信息同步用户手机。

中国国内新能源车企小鹏汽车、蔚来等，其旗下充电桩可完成充电桩位置查询，充电桩信息查询，扫码或连接充电，使用支付宝或微信等方式支付及对服务进行打分评价等操作。但很多存在价值的底层数据尚未被完全收集，充电桩信息也多与实际有不小的出入，车桩之间的数据对接与流动交换存在一定壁垒。

当前我国对于新能源无人驾驶汽车的自动充电方向的研究较少。如何实现高速且自动化无人充电，提升远程人机交互操作体验，让用户在家中就可控制自己的车驾驶到充电桩自动充电，并引入智能化监管运维技术，增加数据流动性，是摆在无人驾驶科技工作者面前迫切需要解决的问题。

### 1.2 国外现状分析

国外对于充电桩的研究相对较早。特斯拉做为新能源汽车行业的拓路者，截止目前拥有遍布全球的 16,585 个超级充电桩。由日本电动汽车充电桩协会（CHAdeMO）制定的一套体系标准为全球众多电动汽车充电桩的设施生产制造提供指导。虽然早在 2015 年特斯拉利用蛇形弯曲充电机械臂提出了机械臂自动充电的概念。2019 年 Electrify America 与 Stable Auto 电动汽车公司达成协议，在旧金山的试点为自动驾驶汽车部署电动车自动充电机器人，如图 1 所示。但是到当前为止充电桩位置的精准定位和车位预约，自动记录占用车位数和空闲车位数等各种参数，并联动地锁，避免非预约车占用车位等问题的解决方法都还没看到相关报道。



图 1-1 Stable Auto 充电机械臂

## 2 研究目标

1.利用北斗精准导航的特性让充电桩提供质量更好、精度更高的定位服务给用户，帮助新能源汽车在电量不足时快速便捷地找到机位进行充电。

2.大部分车主应该都碰到过好不容易找到的充电桩，其专用车位被燃油车或是已充满电车辆占用的情况；或是自己挑上的充电桩位到达后发现被其他电动汽车使用。通过让车主能够在 APP 上提前预约充电时间时长和车位，配合地锁联动锁定车位来解决这一问题。

3.对系统负载情况和不同区域车辆充电频次记录并上传云端，区域内设立北斗网关，汇总加密传输信息并安全接受指令。出现故障立即上报，并同时在 APP 上标记坏桩，便于管理人员快速发现问题进行检查维护，同时优化用户体验。

## 3 创新性

1) 北斗卫星定位、北斗短报文服务与充电桩相结合，其定位精确度更高。

2) 整个系统立足物联网，地锁联动，全程通过手机 APP 终端对智能无人充电桩进行控制，实现简单高效的人机交互，在自动驾驶车辆上可实现全程无人干预。率先提出地锁联动分时预约充电的概念，使充电桩专用车位资源得到前所未有的高效利用。

3) 在自动充电结构上，充电枪使用基于红外-超声波定位技术六轴移动机械臂控制插拔，该机械臂可在不同车位之间的轨道运动，对不同车辆进行插拔充电（充电模式如图 2 所示），减少了对多辆车辆充电所需的充电桩和高精度机械臂的数量。

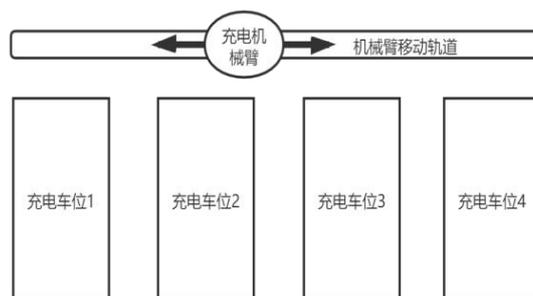


图 3-1 充电模式示意图

## 4 主要研究内容及实现思路

### 4.1 系统总体设计

“绿”向标—基于北斗综合服务的可预约无人充电桩系统由 STM32 控制器、充电桩外部设备（北斗模块，充电机械臂及驱动，接近传感器，地锁）以及 WIFI 通信模块，APP 终端，充电桩监控管理云端组成，系统总体框架图如图 3 所示。

用户可在移动通信终端 APP 上对充电桩进行控制，可预约某车位和充电时间段，且预约信息能与监控管理云同步。充电桩监控管理云通过 WIFI 模块与充电桩 STM32 主控信息同步，STM32 接收来自接近传感器和北斗模块的信号，上传自己的位置并控制地锁、驱动机械臂移动对接。

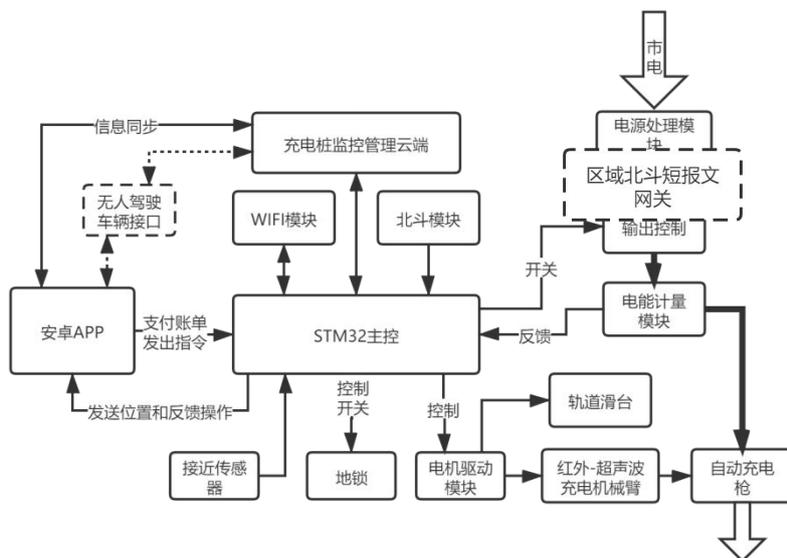


图 4-1 “绿”向标—基于北斗综合服务的可预约无人充电桩系统结构框图

### 4.2 系统软件设计

用户可通过 APP 提前在路上预约充电时长选择充电车位，同时系统会自动推送距离最近的充电桩以及根据当前路况导航所需的大概时间。预定请求提交后系统会根据定位给出预计到达时间及车位是否被他人预定等参数，如该车位已被其他车预约则会立即提醒当前用户更改预约。若预约成功且预约时间到达后，若 5 分钟内还未赶到预约车位则会自动取消预约。若按时赶到，车辆在其所预定选择的车位内，系统控制机械臂自动对接进行充电，结束预定充电时间充电完成后机械臂复位向用户发送账单。系统软件结构如图 4 所示，软件设计流程如图 5 所示。

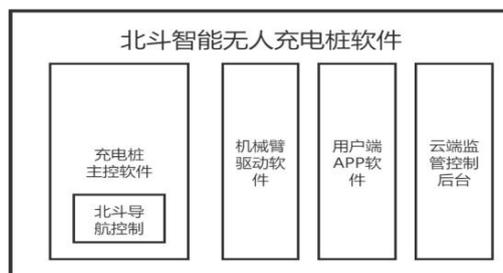


图 4-2 软件结构图

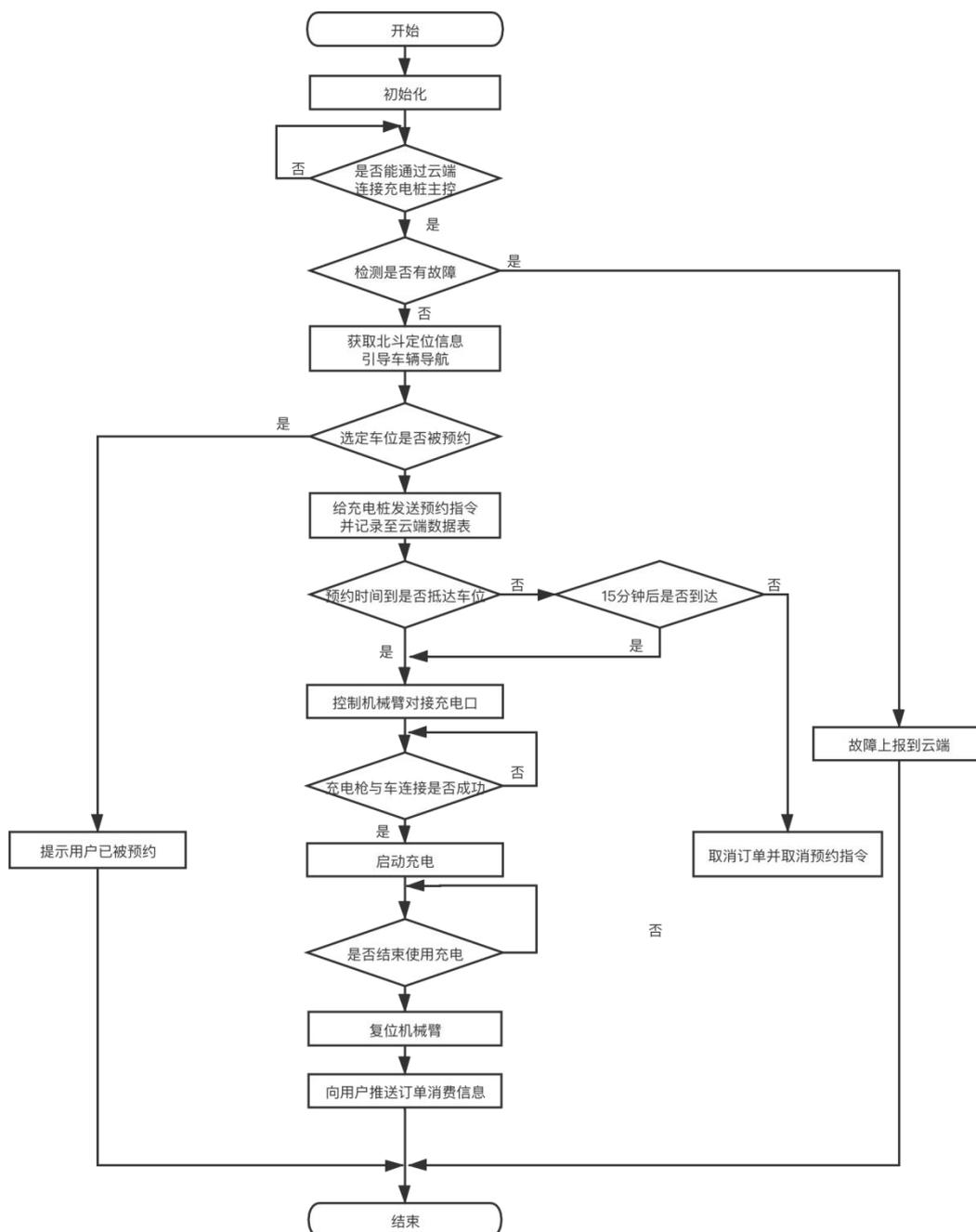


图 4-3 软件流程图

### 4.3 利用北斗精准导航

北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System, BDS）是中国自主设计研发并建立的卫星导航系统，现已给全球提供服务。

本系统北斗模块选用 ATK-S1216F8-BD V23，其核心采用 SkyTraq 公司的 S1216F8-BD 模组。该模块为一款高性能 GPS/北斗双模定位模块，具有 167 个通道，追踪灵敏度高达 -165dBm，输出最快可以达到 20Hz。模块将获取的经纬度信息由 STM32 主控上传至控制云端，在用户 APP 地图上标记显示。将模块安置在充电桩上，用户即可通过手机定位导航快速且精确找到充电桩的位置。APP 界面如图 6 所示。

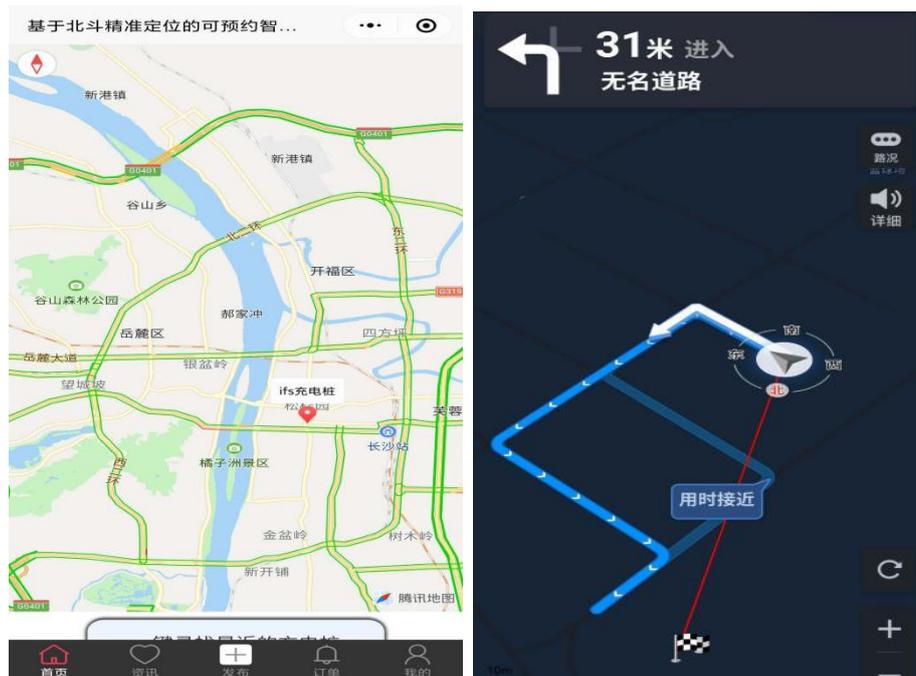


图 4-4 北斗卫星导航 APP 界面

#### 4.4 利用北斗短报文服务进行设备运维

短报文功能，是我国北斗导航卫星的一个特有功能。北斗短报文可为用户机与用户机、用户机与地面中心站之间提供每次最多 120 个汉字或 1680 比特的通讯服务，通信频率最高 1 次/s。“1 户 1 密”一户对应唯一 ID 进行加密，独立的数据传输通道，让用户数据安全有保障。

目前充电桩连接网络主要还是通过有线连接、WIFI、4G 或 5G，对于建设在高速服务区，农村景点等偏远地带充电桩，WIFI 网络信号覆盖有限，4G 信号质量较差，5G 基站布局成本大尚未全面建设。遇到恶劣天气或者地质灾害，网络基本中断，正在使用中或者严重故障的充电桩脱离监管，存在极大的安全隐患。

又据其他相关研究表明，超过 71% 的充电桩故障属于软件故障，可通过后台重启以及软件包更新升级的方式可以解决大部分问题，传统人员到场操作耗时耗力，统一在线处理方便快捷。这时北斗短报文服务在充电桩上相对传统通信传输远、全天候、安全可靠、稳定的优势体现出来了。如图 7 为其通信结构图。

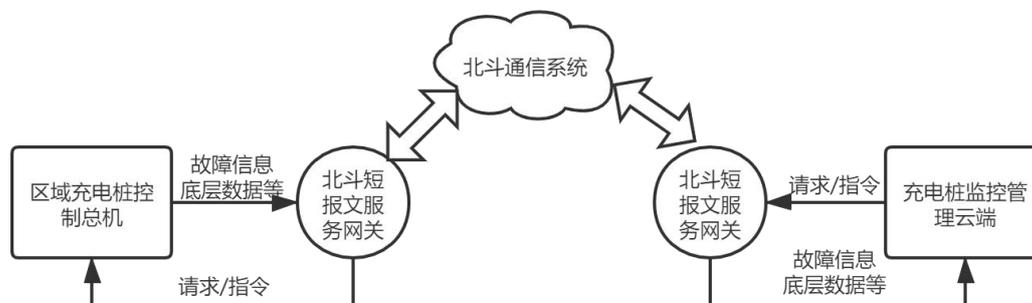


图 4-5 充电桩利用北斗短报文服务通信结构图

#### 4.5 对充电接口的研究

本充电桩采用直流快充方式，工作电源为 380V 三相交流电，所输出的可调直流高压直接给电动汽车锂电池组充电。其直流充电接口标准符合电动汽车传导充电用插头、插座、车辆耦合器和车辆插孔通用要求》(GB/T20234-2006)。直流充电接口标准及定义如图 8 所示。

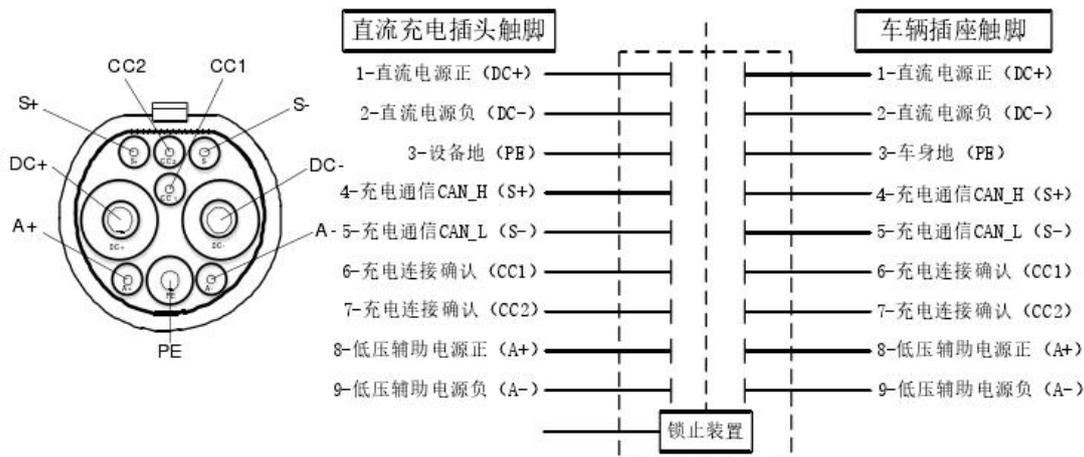


图 4-6 直流充电接口标准及定义

为实现充电桩与车体上充电口之间的匹配，需利用图像识别对不同车型充电口位置进行统计与识别，并设计匹配充电机械臂。

#### 4.6 自动充电机械臂设计

本自动充电机械臂使用红外-超声波定位的方式来确定充电口的位置。超声波定位原理如下图 9 所示，建立 XYZ 三维坐标系，在 XOY 平面上有 3 个超声波接收点 A、B、C 坐标已知，D 点为发射点位置待测，通过超声波测距可得到待测发射点分别到 3 个已知接收点的距离  $l$ 、 $m$ 、 $n$ ，联立三元二次方程组即可求解定位出待测点在此三维坐标系内的坐标。

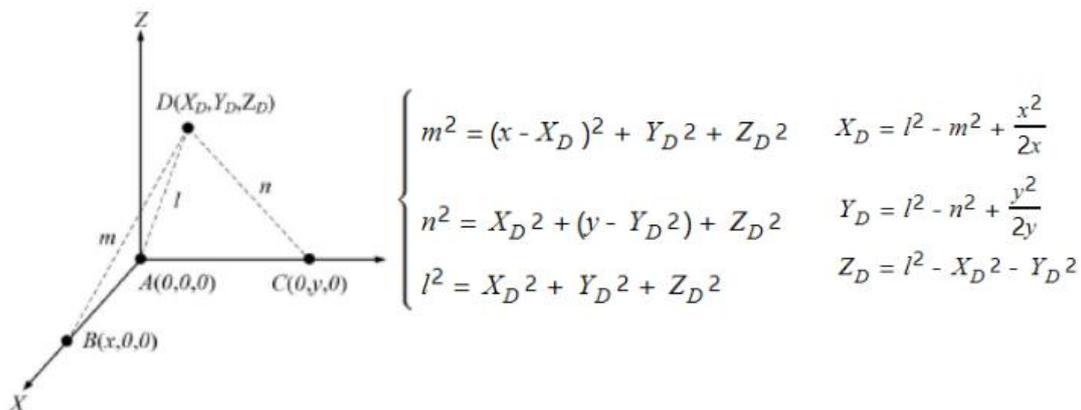


图 4-7 超声波定位原理

据有关数据统计多数新能源汽车充电口位于左后方，所以将自动充电机械臂设置在每个电动汽车停车区域的后方。以汽车充电口所在平面建立坐标系，和对充电机械臂和车辆所在车位建立空间坐标系，求得两者之间位置与角度关系，结合机械臂运动学模型逆结算即可完成充电枪的对接。为了提高定位精度我们采用了红外—超声波双信号的模式。光速远远大于声速，以红外信号作为时钟信号，使发射端和接收端同步记时。再以充电口为底边中点按照等腰三角形设立 3 个超声波发射点，在充电桩周围按照等边三角形设立 3 个已知坐标位

置超声波接收点，即可实现对充电口的三维坐标定位和姿态定位，如图 10 为“三球面相交法”超声波测距实现对空间三维坐标的测量。

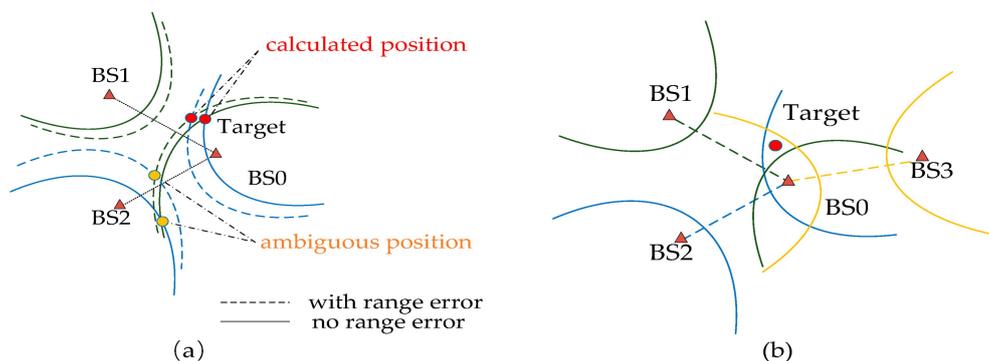


图 4-8 超声测距的“三球面相交法”

## 5 应用前景

1) 能够解决当前一方面大量充电桩闲置，而另一方面急需充电的车又找不到可用桩的方位问题。可有效地优化电桩资源配置问题。

2) 能实现夜间错峰充电，削峰填谷，可减少附近居民区电力系统负荷，对机身情况和不同区域车辆充电频次进行记录并上传云端，便于工作人员对充电桩实现在线管理和维护检查，节省人力成本。且能多台车分时共享一台快充充电桩，节约建设成本，实现充电桩利用率最大化。

3) 预约充电的实现使分时充电这一设想成为可能。

## 6 挑战性和不确定性

各新能源汽车企业生产厂家，车型不同，充电接口的位置也各不相同。且国外和国内的的新能源车辆都没有形成完善和统一的充电接口定义电压电流标准。想要做到完全兼顾，需要厂家提供具体的参数和标准，还是比较困难。

自动充电结构上要求充电枪准确插入对超声波定位的算法有很高的要求，可以与激光以及视觉识别结合提高对接成功率。机械臂采用六轴机械臂，机械臂的运行精度决定了它的价格，在整体成本控制上还需加强。

### 参考文献

- [1] 电动汽车充电基础设施发展指南（2015-2020年）[R]
- [2] 黄晓晓. 物联网地锁联动型充电桩的研究与开发[D]安徽工业大学 2019
- [3] 罗晓勇. 北斗卫星导航系统在物联网中的应用分析[J] 2017
- [4] 马立焱. 基于超声波的电动汽车充电口定位技术[D]. 哈尔滨工业大学,2018.
- [5] 施莹. 基于机器人的电动汽车充电系统及其自动插接的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2016: 15-20.
- [6] 王帅. 电动汽车无人充电桩的设计与开发[D]. 长安大学, 2018.
- [7] 中国新势力车企充电服务研究报告[R] 2019
- [8] 中国新势力车企充电服务研究报告[R] 2020
- [9] 赵建,李炭,王潇榕. 新能源车型充电口位置布置研究[R]（上汽大众汽车有限公司 2018）
- [10] Xiong R, Cao J, Yu Q, et al. Critical Review on the Battery State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicles[J]. IEEE Access, 2018, 6:1832-1843.

---

# 基于北斗导航和遥感图像处理的农作物精细化作业方案设计 及实现

作者：陈帅、高雅晨、吴海峰

指导教师：沈利荣、冯志玺

学校：西安电子科技大学

---

**【摘要】**农业是一个国家赖以生存和发展的基础，并且紧密关系着每一个人的生活。目前，我国农业施药施肥仍极大的依赖人工经验，而且存在以下问题：施肥过程不达标、占用大量人力资源、化肥农药利用率低、作业人员密集、现有服务器体型巨大，灵活性差。为此，本项目设计一种基于北斗导航和遥感图像处理的农作物精细化作业系统，包括北斗导航定位模块，卷积神经网络数据处理模块和无人机作业模块。通过遥感卫星采集包括小麦、苜蓿、玉米、大豆等多种农作物的高光谱数据，实时检测不同农作物不同时间段对化肥、农药的精确需求，并将需求信息发送到无人机控制中心以进行精细化施肥施药作业。在技术层面，本方案采用华为 Atlas200DK 开发板搭载卷积神经网络模块作为数据处理中心，及时处理遥感高光谱数据可进行农作物的分类；本方案采取兼容国内主流大疆 T30 植保无人机，利用 Dijkstra（迪杰斯特拉）算法进行路线规划，完成无人机的自动化作业。本系统可满足精准农业对高精度定位、快速反应、低成本化等需求，具有优越的应用优势和发展潜力，符合我国建设发展精确农业的需求，对精细化农作物生产具有重要的意义。

**【关键词】**:精细化作业 北斗导航 高光谱 卷积神经网络

**【Abstract】** Agriculture is the basis for a country's survival and development and is closely linked to everyone's life. At present, the application of fertilizers in China's agriculture still relies heavily on manual experience and suffers from the following problems: substandard application process, large amount of human resources, low utilisation rate of fertilizers and pesticides, intensive workforce, huge size of existing servers and poor flexibility. To this end, this project designs a crop refinement operation system based on Beidou navigation and remote sensing image processing, including a BeiDou navigation and positioning module, a convolutional neural network data processing module and a UAV operation module. The system collects hyperspectral data of various crops including wheat, alfalfa, corn and soybean through remote sensing satellites, detects the precise demand for fertilizers and pesticides of different crops at different time periods in real time, and sends the demand information to the UAV control centre for fine fertilizer and pesticide application. At the technical level, the solution adopts Huawei Atlas 200DK development board equipped with convolutional neural network module as the data processing centre to process the remote sensing hyperspectral data in time for crop classification; the solution adopts compatible with domestic mainstream DJI T30 planting drone and uses Dijkstra algorithm for route planning to complete the

automated operation of the drone. This system can meet the needs of precision agriculture application for high precision positioning, fast response and low cost, etc. It has good application advantages and potential, which meets the needs of China's construction and development of precision agriculture and has profound significance for fine crop production.

**【 Keywords 】 : Precision operations BeiDou navigation Hyperspectral CNN**

## 1 研究背景与意义

### 1.1 研究背景

我国耕地可用面积约占全世界的 9%，一年纯肥量的使用量约为 5000 万吨，约占全世界肥料消耗量的 35%，但我国每亩地农产品平均农药使用量却是世界平均水平的 1.5 倍，这表明我国肥料、农药的使用仍处于高消耗、低利用阶段（我国四年化肥利用率见图 1.1）。从全国范围来看，我国平均肥料利用率仅为 39%<sup>[1]</sup>，不同区域的利用效率也存在较大差别，尤其在华北、华中平原地区仍存在大规模的过量施肥现象，不仅导致肥料资源浪费，对我国环境保护政策的实行产生巨大压力。近年来，我国的化肥，农药利用率虽然逐年提高但总体水平仍低于 40%，导致大量的农药残留，严重阻碍了我国食品安全健康的发展。目前，我国大部分地区仍处于依赖人力进行农作物施肥施药，具有以下四大问题：1. 施肥过程不达标，造成大量化肥浪费 2. 传统人工施肥占用大量人力资源，耗时耗力 3. 传统方法应对不同地块农作物病虫害时，农药使用量依赖人为经验，致使农药残留多，严重危害着国人的身体健康 4、疫情期间，大型农场作业人员密集，有交叉感染风险。

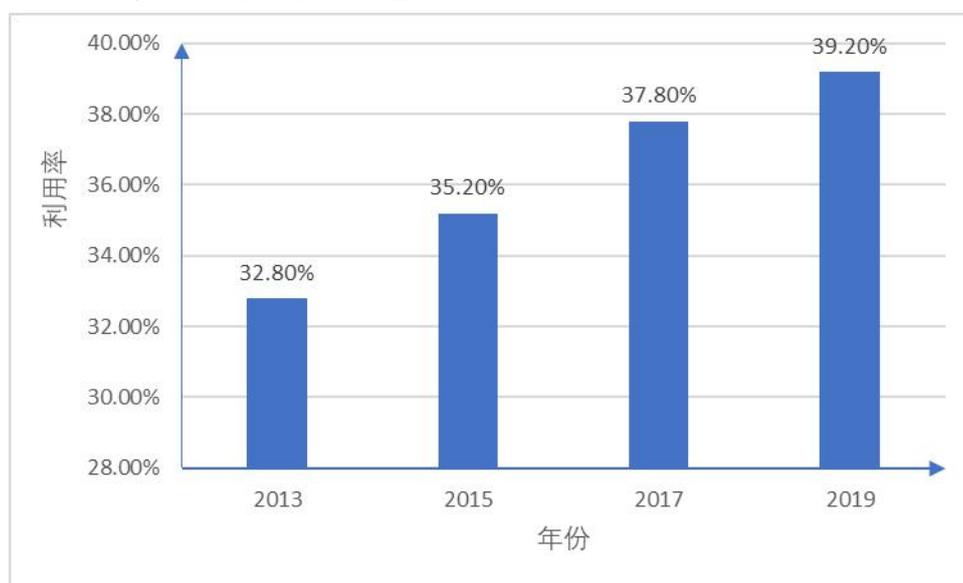


图 1.1 我国四年化肥利用率

### 1.2 研究意义

针对传统农作物精细化施肥施药工作中的四大问题，本文从北斗导航卫星与遥感卫星相结合角度出发，依托高光谱数据分析技术，并结合现有成熟无人

---

机自动化作业技术，利用北斗导航对无人机进行实时导航定位，并根据不同农作物位置信息进行路线规划导航。本方案的主要研究意义如下：

- 拓展北斗导航卫星的商业合作生态；
- 拓展北斗导航卫星与遥感卫星的有机结合领域；
- 提高北斗导航卫星在国际上的竞争力；
- 一定程度上缓解传统农田施肥施药浪费巨大且有残留的问题，提高经济效益；
- 采用纯国产芯片，一定程度上提高了我国农业自动化、国产化建设；
- 芯片服务器轻量化，移动能力强，可以被携带在中小型无人机以及卫星上，覆盖性广。
- 可以推进我国食品安全健康体系建设，缓解广大人民群众的食品安全风险；
- 节省大量的农药、化肥，减少对自然环境的污染；
- 疫情期间，有利于规避大规模人员接触，防控新冠病毒；

## 2 模块基本原理简介

### 2.1 北斗卫星导航基本原理简介

北斗卫星导航系统是我国自行研制的全球卫星导航系统，也是世界第三个成熟的卫星导航系统。北斗卫星导航系统可在世界范围内为各类用户提供导航、高精度、高可靠定位服务，北斗导航卫星具备短报文通信能力，定位精度可达厘米级别，测速精度 0.2 米/秒。<sup>[2]</sup>

利用北斗卫星导航系统的上述导航定位优势，可为农作物精确分类提供高精度的经纬坐标，可谓后续基于无人机精确施肥、精确作业提供精确的定位导航信息，具有重要的现实意义。

### 2.2 遥感卫星以及高光谱数据基本原理简介

遥感卫星搭载许多遥感仪器，如高光谱扫描仪、红外辐射计、红外探测器等。从我国目前的形势分析，卫星遥感技术与导航技术结合以及向产业化发展是必然趋势。在未来，遥感导航应用技术的开拓将是卫星信息产业化的重要途径。

高光谱图像(Hyperspectral Image)是光谱分辨率在  $10^{-2}\lambda$ 数量级范围内的光谱图像。通过搭载在遥感卫星上的高光谱传感器，在电磁波谱的可见光、紫外、近红外和中红外的光谱波段对目标区域同时成像<sup>[3]</sup>。在获得地表图像信息的同时，也获得其高光谱信息，做到光谱与图像的结合。利用高光谱图像的图像信息极其丰富的优势，可以用来搭建卷积神经网络进行机器学习，获得农作物的精确地域分类结果。

### 2.3 大疆 T30 无人机简介

考虑到无人机作业范围需求与精细化作业方面，本方案采取我国国内比较成熟的大疆 T30 无人机。大疆 T30 无人机农药装载方面，配置有 30 升作业箱，这使得叶面肥、农药喷淋过程中，可以尽量减少装肥装药次数，提高无人机的作业效率；作业范围方面，T30 配备 16 个喷头，流量可以达到每分钟 8 升<sup>[4]</sup>。T30 配合 30 公斤的大型药箱，最优喷幅达到 9 米，在大型农田作业时，最高喷洒效率可以达到 240 亩每小时<sup>[4]</sup>。T30 配备前后双 FPV 摄像头，可以在飞行

过程中可以对周边环境进行全向感知<sup>[4]</sup>。大疆 T30 无人机喷头具有自动旋转功能，在最高效的前提下对作业农田进行全方位无死角覆盖。

#### 2.4 华为 Atlas200DK 开发板简介

针对农作物精细化作业系统所面对环境的未知多样性以及现有常规电脑的计算能力难以满足系统要求等问题，本项目采用轻量便携且功能丰富算力强大的开发板 Atlas 200 DK 开发者套件。Atlas 200 DK 开发者套件具有高性能、纯国产、量小的优势，有高达 22TOPS 的算力。在具有高算力的同时，平均功率仅有 20W，尺寸规格仅 137.8 mm \* 93.0 mm \* 32.9 mm，故在面对迁移作业时，可以迅速、便捷的部署与使用。



图 2.3 华为 Atlas200DK 开发板

### 3 基于北斗导航和遥感图像处理的农作物精细化作业方案

#### 3.1 主要功能概述

为了实现精细化施肥施药的目标，本项目设计了基于北斗导航和遥感图像处理的精细化施肥施药方案。本系统借助北斗卫星定位模块、Atlas 200 DK 开发者套件、无人机自动化作业模块统和数据分析处理模块，实现智能、动态、可视、实时、多层次、可反馈调节的农作物精细化作业。本系统的主要功能如下：

- 通过遥感卫星采集高光谱数据；
- 搭建卷积神经网络模型对不同农作物高光谱训练数据进行准确地段分类；
- 通过华为 Atlas200DK 开发板搭载卷积神经网络进行测试数据处理分类；
- 通过控制中心提前预测不同农作物追肥阶段所需不同化肥种类；
- 结合北斗卫星与地面差分站对无人机进行实时导航定位；
- 通过大疆 T30 无人机进行农田**定点定位**的精确施肥施药；
- 对不同阶段农田的高光谱数据的反馈改进卷积神经网络模型；

#### 3.2 系统整体设计方案

本系统由硬件平台以及软件平台共同构成，硬件平台由卫星影像遥感模块、无人机作业模块、华为 Atlas200DK 开发板和北斗导航定位模块组成；软件平台由卷积神经网络模型、无人机路线规划模块组成。卷积神经网络模块包括：输入层、卷积层、池化层、全连接层和输出层组成。本系统主要架构图如图

3.1 所示，系统示意图如图 3.2 所示。

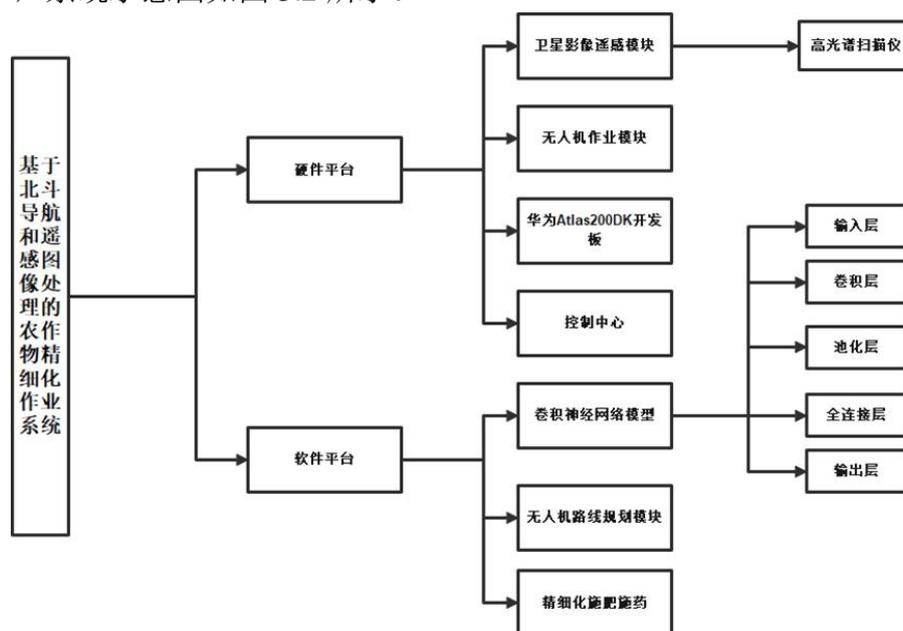


图 3.1 系统主要架构图

- 本方案首先利用 Indian pines 高光谱遥感数据集进行卷积神经网络模型的搭建，对大豆、玉米、小麦、苜蓿等多种农作物进行精确识别分类。
- 随后，利用由遥感卫星采集的高光谱数据，在华为 Atlas200DK 开发板上运行卷积神经网络对具体地段农田农作物进行分类识别，并通过北斗导航卫星对农田内不同农作物测绘出具体精确的经纬坐标。
- 之后把经纬坐标发送到控制中心，控制中心在规划好无人机作业路线之后，进行精细化施肥施药。
- 在无人机精细化施肥施药之后，采用抽样检测，对农作物的生长状况以及病虫害情况等信息进行反馈调查，并将农作物遥感影像作为新的测试数据集反馈到控制中心的卷积神经网络以进行进一步的神经网络模型改进处理。

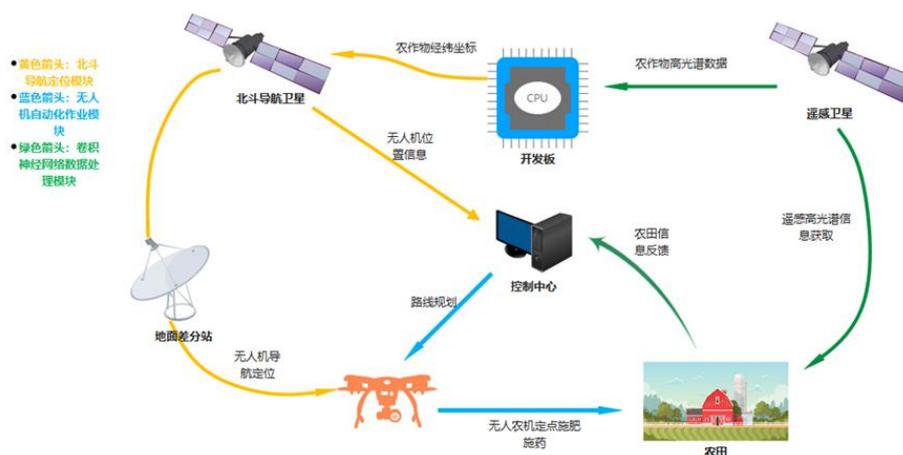


图 3.2 系统示意图

## 4 系统硬件模块

### 4.1 华为 Atlas200DK 开发板内部构造

如图 4.1，在开发板内部，左边蓝色方框区域为昇腾 310 芯片，采用达芬奇架构，并集成了丰富的计算单元，在八位整数精度（INT8）下的性能达到 22TOPS，16 位浮点数（FP16）下的性能达到 11 TFLOPS，而其功耗仅为 8W。本方案中，利用华为开发板 22TOPS 的算力，采用 pytorch 等库函数对大规模高光谱数据进行卷积神经网络搭建以及数据处理。右侧黄线框为海思 HI3519 芯片，面向监控 IP 摄像机、运动相机、全景相机、后视镜、航拍无人机等进行多媒体图像处理，本方案中利用中小型无人机搭载开发板进行农田不同农作物的分类。

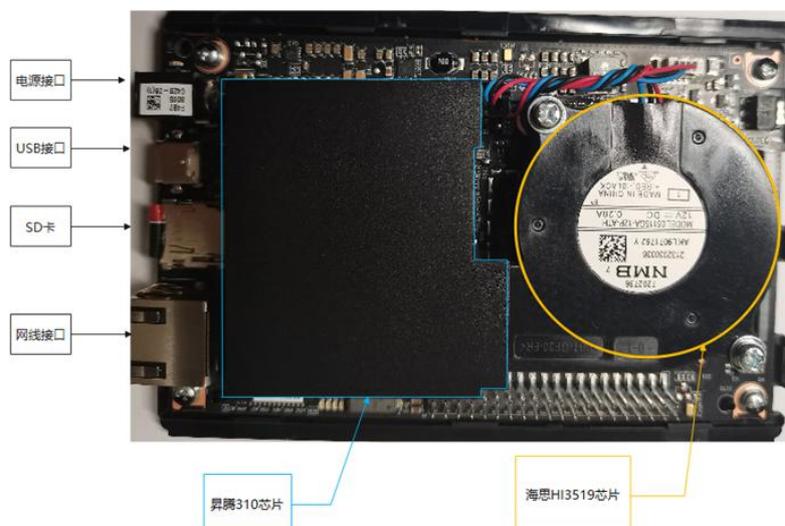


图 4.1 华为 Atlas200DK 开发板

### 4.2 基于北斗导航的无人机自主作业

本方案采取北斗导航系统终端接收卫星信号和差分信号，通过 RTK（载波相位差分）技术，为无人机的运行和精细化作业提供基本位置信息，达到分米级至厘米级的定位精度，向无人机进行精确导航定位。

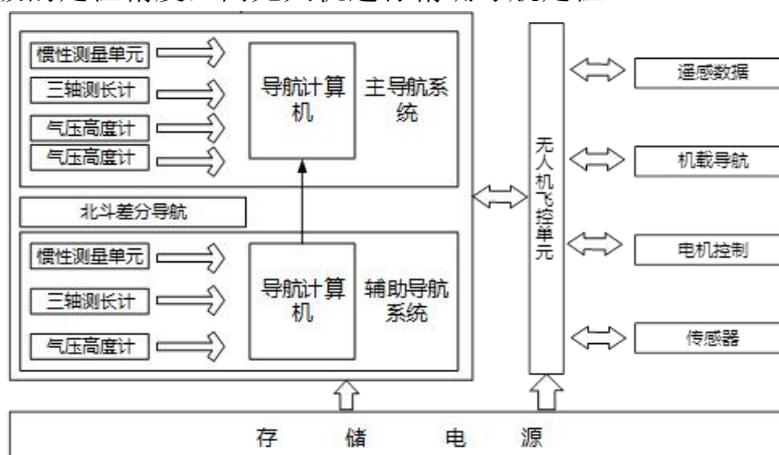


图 4.2 无人机导航原理

无人机电体化导航飞控系统为无人机提供导航参数，完成无人机飞行控

制、任务管理等功能。其中导航系统通过数据链实时接收移动基准站发送的 RTK 差分修正数据，进行 RTK 差分。采用卡尔曼滤波融合 SINS 和北斗 RTK 信息，实时解算以基准站为原点的坐标系下无人机东、北、天坐标及地理系下无人机的航向、姿态、速度、位置等导航参数，从而计算出基准站与无人机之间的厘米级精度矢量基线（包括相对水平距离和相对高度），基准站（或附近设定点）的位置即是无人机预定的着陆点，引导无人机完成精确化施肥施药作业<sup>[5]</sup>。

本方案采取与大疆 T30 无人机结合，并采用 Altizure 软件进行无人机的自动驾驶控制。

### 4.3 控制中心

无人机控制中心是基于卫星定位、卫星遥感和移动通信等技术的移动监控与调度管理系统，由北斗导航系统、无人机控制台等相关应用支撑平台组成，旨在实现无人机资源的合理配置和有效调度、管理<sup>[6]</sup>。C-P-T（计算机—移动指挥终端—移动定位终端）无人机移动监控与指挥模式，旨在面对农业精确施肥施药时，能迅速、准确的做出反应。

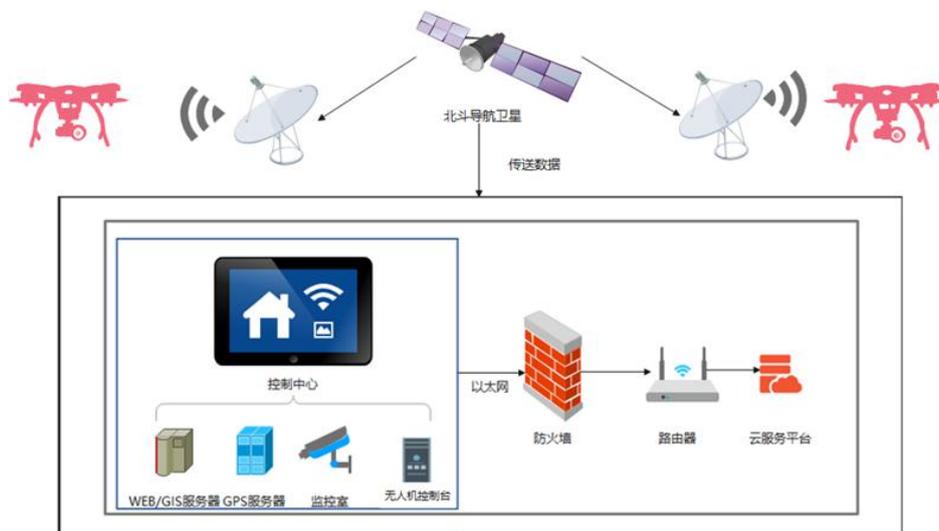


图 4.3 控制中心结构示意图

## 5 系统软件模块

1935 年科学家提出神经网络模型，由于神经网络在解决复杂问题时能够提供一种相对简单的方法，所以神经网络被广泛运用于模式分类、优化计算、数据聚类等。近年来，卷积神经网络模型被广泛应用于人工智能、自动控制、机器人、统计学等领域的信息处理中。

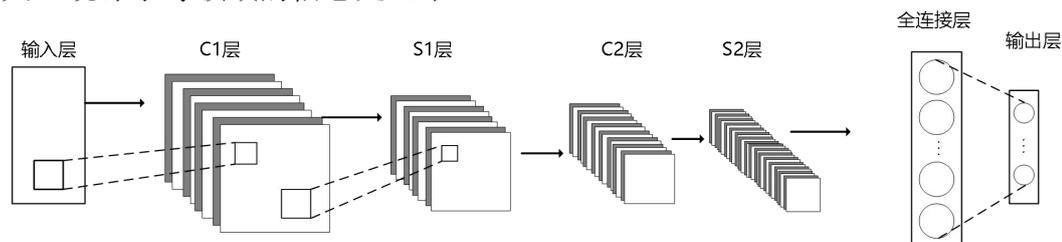
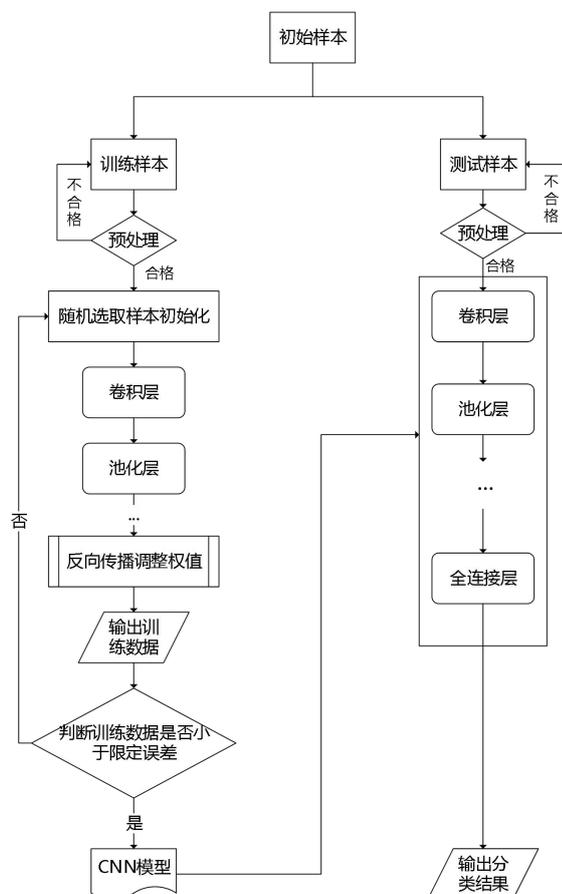


图 5.1 卷积神经网络基本结构

本项目采用 k 均值算法像素分类方法，将 Indian pines 高光谱数据进行分

类，之后将训练数据集输入卷积神经网络进行训练学习，并进行神经网络的自我更新与训练，并最终对遥感卫星接收到的数据进行处理，完成对不同农作物



化肥农药需求的预测与分析<sup>[7]</sup>。

图 5.2 卷积神经网络模型结构图

### 5.1 数据采集以及处理

我们对 Indian pines 高光谱遥感数据进行降维，再与标签数据进行一一对应。

- 1) 获得输入图像的宽度  $W_{in}$  (像素)、高度  $H_{in}$  (像素) 与三维层数  $S_{in}$ (光谱信息)
- 2) 将数据集进行切片操作，使之转化为  $(145*145)*200$  的格式。
- 3) 按行的方向继续进行降维。
- 4) 对数据进行 `shuffle()`操作，将数据集打乱。
- 5) 从标签数据集中取出数量一致的标签，与高光谱遥感数据向量对应。
- 6) 返回一组数据根据输入的索引返回该索引下的数据，以及对应的标签。
- 7) 将处理完成的数据发送到 Atlas200dk 芯片进行卷积神经网络模型的搭建。



图 5.1 数据处理流程

## 5.2 卷积神经网络识别

- 1) 卷积神经网络具有不易变动性，而且可以降低参数数目，因而提取到图像层更高层的三维信息；
- 2) 输入层 (INPUT)：网络输入使用 mat 格式标准数据，并且将的原图  $145 \times 145 \times 200$  进行去中心化和标准化处理，输出结果  $21025 \times 200$  作为第一个卷积层的输入；
- 3) 卷积层 (Convolutions)：将多个神经元组成特征平面通过卷积核进行多次卷积。
- 4) 卷积层采用的都是  $4 \times 4$  大小的卷积核/过滤器 (kernel/filter)，且卷积核每次滑动一个像素 (stride=1)，一个特征图谱使用同一个卷积核。每个上层节点的值乘以连接上的参数，把这些乘积及一个偏置参数相加得到一个和，把该和输入激活函数，激活函数的输出即是下一层池化层节点的值；
- 5) 池化层 (Pooling)：通过卷积得到的若干特征，如果直接神经网络结构的搭建，可能会导致过拟合风险。因此需要进行池化操作。池化就是将输入图像进行缩小，减少像素信息，只保留重要信息，即缩小参数矩阵（去除冗余信息）从而减小下一层参数的数量(防止过拟合，减小计算量)；
- 6) 激活函数 (Activation Function)：本方案激活函数采用 Relu 函数。Relu 将神经元的输入映射到输出端 Relu 函数的作用是只保留响应值大于 0 的数值，并将小于等于 0 的响应值置为 0。Relu 函数解析式为： $Relu = \max(0, x)$

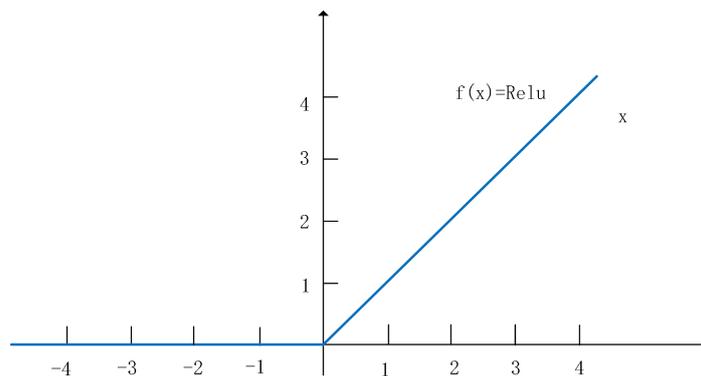


图 5.2.1 ReLU 函数

- 7) 全连接层 (Fully Connected Layer): 综合上一层所提取到的特征参数, 并且对输入信息进行分类处理。并且全连接层的每一个神经元都与上一层的所有神经元相连, 起到将学习到的分布式特征表示映射到样本标记空间的作用;

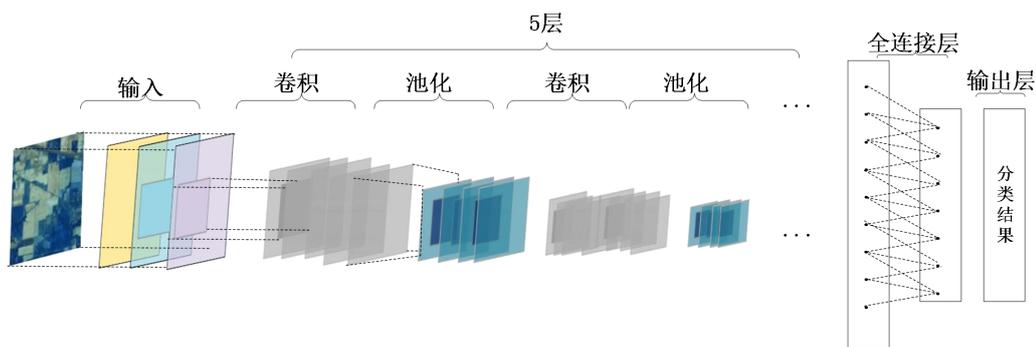


图 5.2.2 卷积神经网络架构

### 5.3 卷积神经网络的基本架构

表 5.3 Indian Pines 场景的农作物种类及其各自的样本数

标签	类别	样品
0	地表	10776
1	紫花苜蓿	46
2	玉米 1	1428
3	玉米 2	830
4	玉米 3	237
5	草场	483
6	灌木	730
7	牧草	28
8	干草堆	478
9	燕麦	20
10	大豆 1	972
11	大豆 2	2455

12	大豆 3	593
13	小麦	205
14	树木	1265
15	建筑物-草木-树木 驱动器	386
16	石钢塔	93

- 输入层 (INPUT): 初始印度松高光谱数据为  $145 \times 145 \times 200$ , 经处理后, 将其转化为  $21025 \times 200$  作为输入层的输入;
- 卷积层 1 (Convolutions, C1): 两次使用 `nn.Conv1d ()` 即 1 维卷积提取特征, 得到 16 个特征平面, 其中每个特征平面使用  $4 \times 4$  的卷积核, 本层利用激活函数 `Relu` 进行输入端与输出端的映射;
- 池化层 1 (Pooling, P1): 降低数据维度, 减小下一层参数的数量, 防止过拟合, 所有需要保留特征图中最重要的特征并去除无关的特征以对参数矩阵降维处理。使用 `nn.MaxPool1d(2)` 即采样  $2 \times 2$  的选择框, 并将池化后的矩阵输入 C2;
- 卷积层 2 (C2): 同理, 两次使用 `nn.Conv1d ()` 即 1 维卷积提取特征, 其中每个特征平面使用  $4 \times 4$  的卷积核, 进而将 16 维输入信号通道转化为 32 维信号通道, 本层有激活函数 `Relu`;
- 池化层 2 (P2): 1 维池化, 这一层采样和上文的采样相同, 使用的采样窗口为  $2 \times 2$ , 对 C2 层进行采样, 得到 32 个采样平面, 结果作为参数输入到 C3;
- 卷积层 3 (C3): 特征平面变为 64 个, 本层卷积核仍然为  $4 \times 4$  且有激活函数 `Relu`;
- 池化层 3 (P3): 同上文, P3 用的采样窗口为  $2 \times 2$ , 对 C3 层进行采样, 得到 64 个采样平面, 结果作为参数输入到 C4;
- 卷积层 4 (C4): 特征平面变为 128 个, 本层卷积核仍然为  $4 \times 4$  且有激活函数 `Relu`;
- 全连接层 1 (F1): 这一层有 128 个神经元, 每一个神经元都和 C4 的  $128 \times 13$  神经元相连;
- 全连接层 2 输出 (F2): 该层有 17 个神经元, 对应 17 个分类类别, 卷积神经网络在运行时选择输出精度最大的神经元进行输出;

#### 5.4 无人机作业路线规划

无人机路线规划, 本方案采用图论, 利用 `Dijkstra` 算法, 把不同农田上农作物抽象为图上的一个点。在得到最小路径之后, 通过 `Altizure` 软件进行无人机的自动驾驶, 进而完成精细化施肥施药作业。

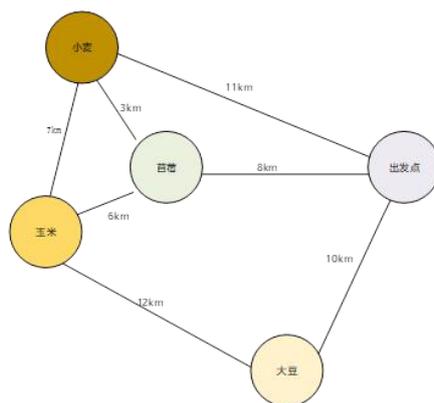


图 10 不同农作物分布点图

#### 5.4.1 农作物遥感影像经纬度坐标传达

本方案利用北斗导航卫星定位模块对农田不同农作物分块地段 A、B、C 等的经纬度坐标提前测出， $A(L_{ng}, L_{at})$ 、 $B(L_{ng}, L_{at})$ 、 $C(L_{ng}, L_{at})$  等，其中  $L_{ng}$  表示经度， $L_{at}$  表示纬度，当北斗定位系统定位到的农田不同农作物 X 地块的具体经纬度坐标时， $X(L_{ng}, L_{at})$  且满足关系式  $\begin{cases} L_{ng1} < L_{ng} < L_{ng2} \\ L_{at1} < L_{at} < L_{at2} \end{cases}$  时，即可认为无人机进入当前农作物地块。当无人机导航定位坐标不满足上述关系式时，即可认为无人机从当前地块飞出。

#### 5.4.2 算法基本步骤

- 引进两个集合 P 和 Q。P 记录已求出的最短路径长度 (以及相应最短路径的顶点)，而 Q 记录未求出最短路径的顶点 (以及该顶点到起点的距离)；
- 初始时，P 中只有起点；Q 中是除起点之外的顶点，并且 Q 中顶点的路径是“起点到该顶点的路径”，设 Q 中点的数目为 z 且依次为  $Q_1、Q_2、Q_3 \dots Q_z$ ；
- 从 Q 中找出路径最短的顶点  $Q_x、Q_y$ ，并将其加入到 P 中并在 Q 中删除，P 之后依次为  $P_1、P_2$ ；
- 更新 Q 中的顶点和顶点对应的路径，再从 Q 中找出路径最短的顶点，并将其加入到 P 中；
- 重复该操作，直到遍历完所有顶点；

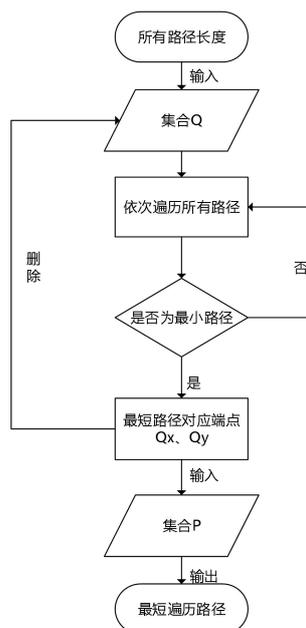


图 5.4.1 Dijkstra 算法流程图

### 5.5 精细化施肥施药系统平台

Indian Pines 数据集包括小麦、玉米、大豆、燕麦等多种农作物，本方案采取大疆 T30 植保无人机，根据农作物在不同阶段对不同化肥种类的不同需求，在农作物生长追肥时期，精确补充氮肥、磷肥、钾肥三大主要叶面肥，通过无人机环形布局的 16 个喷头与农药一起喷洒至农作物叶面，从而完成精细化施肥施药的需求与目的<sup>[8]</sup>。

表 5.5 农作物化肥每亩施用量

农作物化肥 每亩施用量 (kg)	氮肥	磷肥	钾肥
小麦	14~16	7~9	4~6
玉米	10~14	3~5	5.5~7
大豆	10	4~7	10
苜蓿	6~9	1.2~2.4	6~9
燕麦	6.5~8.75	3~5	10

## 6 实验结果及分析

### 6.1 农作物分类精确度和卷积次数相关性分析

本方案利用 Indian Pines 数据集，经过预处理成 17 维 21025×200 的矩阵数

据输入。①通过原始数据的分类，将 80%的原始数据分为训练数据，20%的数据维测试数据；②对训练数据进行 200 次卷积神经网络训练，农作物分类精度见图 6.1。可见，随着迭代次数的增加，卷积神经网络权值的不断迭代更新，农作物分类精度(train\_acc)在不断提高最终在第 200 次迭代稳定在 80%左右,分类损失率 (train\_loss) 则是波动中下降，最终在 200 次迭代趋近于 0。③利用测试数据对卷积神经网络模型进行分类准确性评价，根据图 6.1 可见，在 1~100 次迭代范围内，模型的分类精度(test\_acc)有较大幅度的提高，在 100~200 次循环内卷积神经网络模型分类精度稳定在 99.9%左右；④相对而言，卷积神经网络在经过循环训练之后对测试数据集的高光谱分类精度无论在精确度还是波动性上都有较大提高。

因此，从农作物高光谱分类精度与卷积次数相关曲线分析可得，卷积神经网络模型具有分类精度较高且稳定的农作物识别能力。

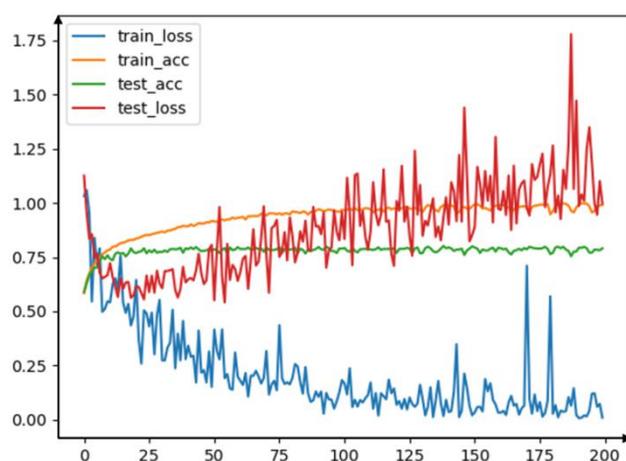


图 6.1 CNN 分类精确度与迭代次数相关性曲线

## 6.2 样本高光谱特征值与贡献率相关性分析

- 本方案采用 Indian Pines 数据集中全部 21025 个高光谱样本分析 200 个高光谱特征值对 XX 贡献率的影响，全部样本高光谱特征值对贡献率影响的图表（见图 6.2.1）；
- 由于样本过多，导致样本曲线不易分辨，本项目采取特征提取法对所有样本进行取舍，最终得到 17 个地表分类项的平均样本贡献率与各项所有样本总贡献率曲线图（见图 6.2.2）；

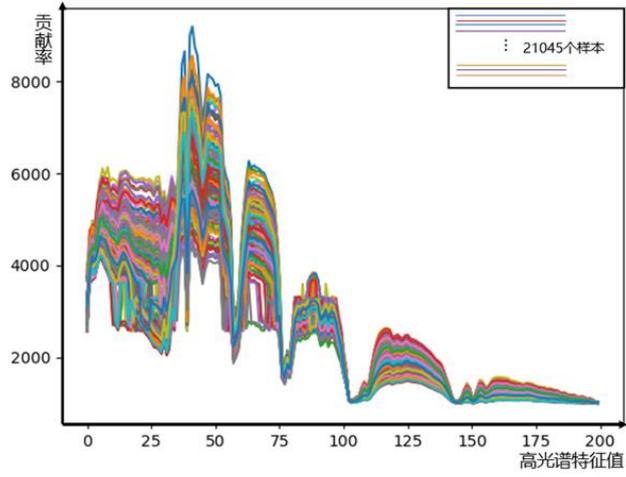


图 6.2.1 全部样本高光谱特征值对贡献率影响

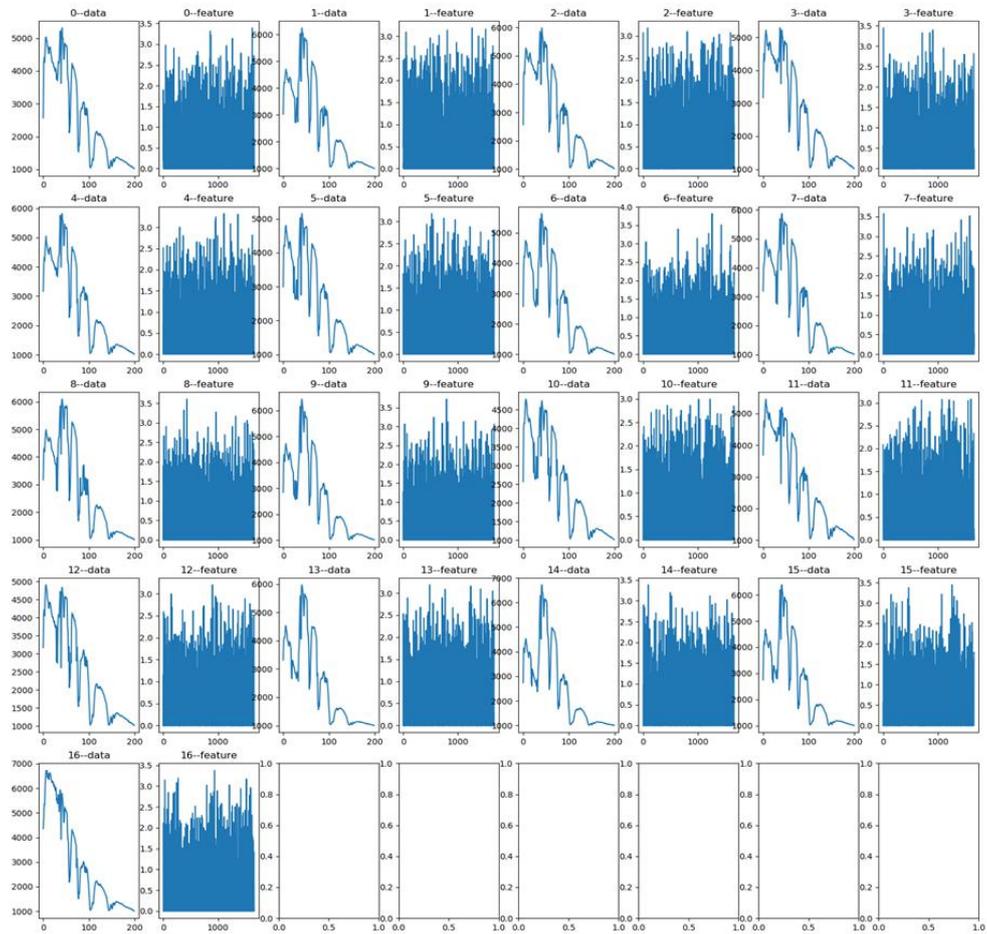


图 6.2.2 17 个主样本高光谱特征值对贡献率影响

---

## 7 创新点

### 7.1 创新之处

1、卫星遥感与北斗导航结合，可实时，准确的获得农业高光谱数据，便于通过北斗导航进行无人机的路线规划和农业的精细作业。

北斗的实时导航、快速定位、精确授时、位置报告和短报文通信，使基于北斗导航的卫星遥感数据将更精准更可靠。本项目依托卫星导航技术，将遥感影像数据的提取从“有可用的遥感图像”到“可针对需求提取相应的遥感图像”，以便于农业中的精细化施肥施药。在获得预测数据之后，还可以通过北斗导航对无人农机与无人机施肥除害提前做好路线规划和实时数据共享。

2、本项目通过人工智能神经网络学习等参与到对遥感数据提取的运算中，提高遥感平台的服务能力与预测能力。

遥感导航平台是连接数据资源和用户的关键环节。遥感导航平台包括向用户供应数据资源的遥感数据供应平台和基于预测结果向用户以及无人机定点定位的导航定位系统和软件平台。本项目通过人工智能神经网络学习等参与到对遥感数据提取的运算中，提高遥感平台的服务能力与预测能力。

### 3、所设计的系统属于纯国产化系统

由于中美贸易战的影响，本方案不得不考虑产品的软件、芯片、上下游供应链的国产化进程。我们秉承着北斗卫星自主建设的原则，并且充分考虑到未来中美关系的不确定性，最终应用北斗+遥感+华为 Atlas200dk 芯片，打造纯国产自主的集合农田实时监测和农机自动路线归化的遥感导航平台。

4、无人机机载集成华为 Atlas200DK 开发板的软件系统，利用海思 3519 芯片进行遥感图像处理与分析，安全可靠、减少人力物力重要的是减少人员接触安全系数高。

①在实施防护措施阶段，采用结合自动无人机进行不同农作物精确化施肥施药，节约了大量的人力物力，施肥施药效率较高，而且有效避免了疫情期间大规模人员接触；②本方案采取无人机机载集成华为 Atlas200DK 开发板的软件系统，利用海思 3519 芯片进行遥感图像处理与分析，效率高、安全系数高。

### 7.2 优点

- 轻量化：芯片小巧轻便，功耗小，只有 20W，尺寸为 137.8 mm \* 93.0 mm \* 32.9 mm，可以搭载在中小型无人机以及卫星上；
- 性价比高：系统搭建运行成本低，算力可达 22TOPS,算力强大，性价比高；

- 
- 纯国产：本方案采用华为 Atlas200dk 开发板，采用 Ascend 开发模块 MindStudio 进行模型的迭代更新；
  - 运行范围广：大疆无人机播幅达 7 米、每小时可施肥 1 吨、作业范围可达 240 亩/小时，在应对紧急突发情况时能够短时间内大范围施肥施药；
  - 反应速度快：本遥感监测系统在收到高光谱数据信息之后可以在 10min 内作出判断并立即发送位置信息给北斗导航卫星，并最终传达给植保无人机；
  - 可反馈调节：本方案通过比较不同时间段的农田高光谱信息，可以对遥感监测系统进行反馈调节。

## 8 后期可拓展领域

➤ 在未来，本遥感监测系统可以与现成成熟的大疆无人机结合，适配已经成熟的无人机进行定点定位农作物除害。

➤ 后期，本团队将开发出基于 Android 和 Windows 的手机和电脑软件平台，面向用户收集反馈信息进行改进，并建立用户评价机制。

➤ 本团队将继续改造卷积神经网络模型，在提高精确度的同时减少运行时间以及内存，降低测试数据集分类损失率（test\_loss）。

➤ 强化北斗+5G，5G 是最新一代移动通信技术，具有高速率、大容量、低延时的特点；而北斗系统能实现全球时间和空间的精确同步，“北斗 +5G”能够提供一种精准时空的智能可行导航服务。

➤ 应用北斗+遥感，可以进行森林的病虫害监测与防火预警，并且在得到信息之后通过无人机进行森林病虫害农药喷洒与灭火，防患于未然。

---

## 参考文献

- [1] 徐娜.化肥、农药利用率分别提高至 39.2%、39.8%[J].中国农资,2019(49):1.
- [2] XIE Jun,ZHANG Jianjun.北斗导航卫星系统创新发展之路(英文)[J].Aerospace China,2020,21(04):5-10..
- [3] 刘梦滢,谢福鼎.基于松弛策略和多分类器的半监督高光谱图像分类[J].国土与自然资源研究,2021(02):18-20.
- [4] .解码大疆 T30 黑科技[J].农业机械,2021(01):35.
- [5] 曲蕴杰.小型无人机惯性/卫星/视觉组合导航技术研究[D].哈尔滨工业大学,2020.
- [6] 朱怀汝,张新盈.北斗卫星导航系统在河南精准农业中的应用探讨[J].全球定位系统,2017,42(03):94-98.
- [7] 万亚玲,钟锡武,刘慧,钱育蓉.卷积神经网络在高光谱图像分类中的应用综述[J].计算机工程与应用,2021,57(04):1-10.
- [8] 覃凝.玉米生长期需肥特点及施肥技术要点[J].南方农业,2019,13(09):40+47.

---

## 第十二届“北斗杯”全国青少年科技创新大赛

### 大学组二等奖优秀作品



---

## 基于北斗系统实现骑行头盔实时监测与报警功能

作者：吴文渊、陈瑶、罗超煌、陈栩彬

指导教师：孙达新

学校：福建农林大学

---

**【摘要】**：本文根据国家安全发展的战略需求，以我国自主研发的北斗导航系统为平台，基于北斗系统实现骑行头盔实时监测与报警功能的产品在公路交通事故实时监测、辨别、预警、定位以及隐患排查等功能。

以单片机 STM32F103 为主控芯片，实现了目标骑手北斗定位、数据的读取解析、存储、坐标可视等功能。由于现有的骑行头盔缺乏可靠的感知交互定位、实时监测与预警的功能，在很多时候在交通事故当中，受伤者往往是由于没有第一时间得到救助，因伤势过重而亡的。将北斗卫星导航系统与骑行头盔相结合，使带上该头盔的受伤者位置能够第一时间被北斗通信基站获取。基站再将受伤者的位置发送给就近的医院和警署，使得医疗救助队和警队能够迅速抵达事发地，对伤者进行第一时间的救助和交通疏导，使得伤亡降到最低。因此本文以骑行头盔为载体，设计了跟随骑手的实时监测与报警功能的移动终端，对改善目前两轮车安全检测的状况，提高两轮车出行安全具有重要意义。

本文设计实现数据由无线转有线的传输方式，并通过基于平台开发的监测软件实时对监测数据的显示、存储、运维。通过对无线传感网络、数据分析与处理等技术的研究，设计了基于北斗系统实现实时监测与报警功能的骑行头盔，能够有效地保障骑手的生命安全和交通安全，具有一定的理论研究和工程价值。

**【关键词】**：北斗卫星导航系统，实时监测，头盔

**【Abstract】** According to the strategic needs of national security development, this paper, based on the strategic needs of national security development, takes the Beidou navigation system independently developed by China as the platform, and realizes the functions of real-time monitoring and alarm of riding helmets based on Beidou System in real-time monitoring, identification, warning, positioning and hidden danger detection of highway traffic accidents.

The main control chip is STM32F103, which realizes the functions of positioning the North bucket of the target rider, reading and analyzing the data, storing and coordinate visualization. Because the existing riding helmet lacks reliable function of perception and interaction, real-time monitoring and early warning, in many cases, the injured are often killed due to the lack of first time rescue and death due to the heavy injury. The combination of Beidou satellite navigation system and riding helmet enables the injured position with the helmet to be acquired by Beidou communication base station for the first time. The base station then sends the injured location to the nearby hospital and police station, which enables the medical rescue team and police team to arrive at the place of the incident quickly, and provide the first time assistance and traffic guidance for the injured, so as to minimize the casualties. Therefore, the paper designs a mobile terminal with the function of real-time monitoring and alarm of the rider, which is of great significance to improve the current situation of the two wheel vehicle safety detection and improve the safety of

---

the two wheel vehicle.

This paper designs and realizes the transmission mode of data from wireless to wired, and displays, stores and operates the monitoring data in real time by the wechat applet developed on JavaScript platform. Through the research of wireless sensor network, data analysis and processing, a riding helmet based on Beidou system to realize real-time monitoring and alarm function is designed, which can effectively guarantee the life safety and traffic safety of the rider, which has certain theoretical research and engineering value.

**【Key words】 Beidou satellite navigation system, real-time monitoring, helmet**

---

## 1 绪论

### 1.1 研究背景及意义

国家交通的高速发展，机动车与非机动车数量逐年都呈现出增加的趋势，以致城市交通中拥堵现象日益严重，使得交通压力不断增大，行车难以找到合适的车位停放，车流量激增的同时，停车位的数量跟随不上，造成了交通拥堵。而与之相伴的问题就是交通的管制程度跟随不上汽车的数量增加，非机动车的管理难度大，不按规定在非机动车位停放、行驶在道路上随意变更机动车驾驶车道和非机动车驾驶车道的情况也越发严重<sup>[1]</sup>，这些都是我们所深思的问题。

交通安全问题更是我们需要关注的重点，上述这些不文明、违反交通法规的行为，使得我国交通安全事故的数量逐年都呈现出增加的趋势。其中非机动车事故严重程度与机动车相比更加之深。非机动车在出现事故时对人的保护程度十分有限，另外我国的法律法规也规定了驾驶非机动车出行时，骑手都应该佩戴好安全头盔。根据公安部发布的研究结果，当交通事故发生时，安全头盔的缓冲层通过吸收大部分撞击力，从而起到减震、缓冲、保护的效果，可以防止 80%以上的头部受伤情况。

基于这一点，我们团队就非机动车出行这一问题上思索如何能够更好地保障非机动车手的安全问题。所以我们将目光锁定在骑行头盔上，我们设想是否能研发一个包括实时监测、定位、报警等多功能化的骑行头盔。在保证其安全程度上，对头盔加以改造，以单片机 STM32F103 为主控芯片，设置速度传感器和压力传感器单元，将北斗导航系统与其结合。速度传感器检测到头盔达到一定速度后，实时监测系统将会开启，骑手的位置也将通过北斗卫星而定位，通过手机终端骑手也可以实时查看自己所处的位置，同时头盔内置的 Vnet8 双频北斗接收机实时接收北斗卫星发出的位置和时间的信号，可同步获得从用户到卫星的距离信息。若骑手遭遇事故，头盔受到冲击，压力传感器连接 STM32F103 单片机，向北斗导航系统单元发送信号，北斗导航系统单元向附近的北斗基站发送危险信号<sup>[2]</sup>。北斗基站接收到信号并迅速定位受伤者位置，并将受伤者位置发送给离受伤者位置最近的医院和警署，使得医疗救助队和警队能够迅速抵达事发地，对伤者进行第一时间的救助和交通疏导，使得伤亡降到最低，最大程度上保障骑手安全和交通秩序。

### 1.2 北斗系统介绍

作为我国自主研发的卫星导航系统，北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System, BDS）对国家安全以及经济社会发展都有重大意义。

---

BDS 是继 GPS、GLONASS 之后的第三个完全成熟的并且已经投入使用的卫星导航系统，其全天候、全时段的高精度定位、导航以及授时服务也是备受好评。

### 1.3 北斗系统战略意义及团队思想

为了对抗美国的 GPS 定位技术，同时加强我国的国防安全水平，北斗卫星导航系统已经成为尤为重要的国家战略基础设施。北斗导航系统是我国对抗国外定位技术垄断，是自 2000 年 10 月 31 日第一颗北斗卫星发射以来，我国始终都在研发的卫星导航技术平台。如何将北斗导航系统合理、合适、合规的投入到民生生活中，让更多人使用并体会其中的益处是我们团队一直都在思索的问题，所以我们团队从交通事故方面收到启发，思想一致地决定研究一款北斗安全头盔。

## 2 产品总体设计

### 2.1 产品外部构造

#### 2.1.1 头盔外壳

头盔外壳材质采用 PC+ABS 合金料，ABS 作为一种树脂材料，又称之为工程塑料，抗撞击效果好，不易变形。在 ABS 基础上混合 PC 材质，强度和韧性都得到了很大的提高，在低温冲击性能上也提高了不少。

#### 2.1.2 头盔内侧

头盔内侧安装有防冲击衬垫，与头部相贴合的表面衬垫材料是稀网眼衬布，具有吸汗和吸收头部油脂的作用，同时也能做到对骑手头部良好的侧面保护。此外，衬垫上开有深度在 8mm 以上的通气槽，以使头盔内空气流通。

#### 2.1.3 头盔护目镜

头盔护目镜采用钢化玻璃。钢化玻璃相对于普通平板玻璃来说，强度、抗拉度远远高于普通玻璃。并且钢化玻璃受到撞击后不容易破碎，即使破碎也不会对人头部造成太大的伤害。这样对于骑行者来说能做到保护效果最好的正面保护。

#### 2.1.4 护额材质

护额材质采用碳纤维。碳纤维作为含碳量在 90%以上的高强度高模量纤维，它的耐高温性居所有化纤之首。用腈纶和粘胶纤维做原材料，经过高温催化氧化碳化而成。在保证骑手安全的前提下，根据实际情况采用高模量级碳纤维（HM）：模量在 310~395GPa 间。在骑手遭遇事故俯面倒地时，能够有效保护下颚，避免骑手遭受致命伤。

#### 2.1.5 缓冲层和内衬

缓冲层和内衬采用 EPS（聚苯乙烯泡沫）泡沫层。这种均匀封闭的空腔结构使 EPS 具有吸水性小，保温性好，质量轻及较高的机械强度等特点<sup>[3]</sup>。骑手遭遇事故时能够有效缓冲骑手头部受到的伤害。

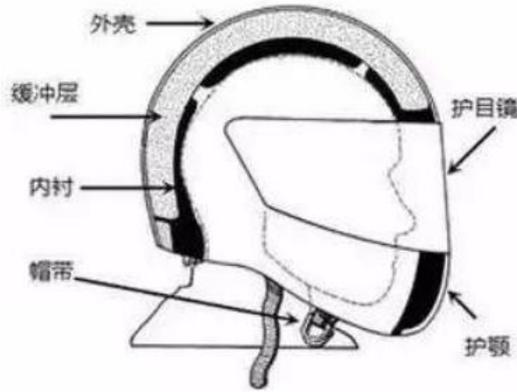


图 2-1 产品外部构造

## 2.2 产品内部构造

### 2.2.1 芯片

以单片机 STM32F103 为主控芯片<sup>[4]</sup>。其使用用途非常广泛的 arm 内核，提供了非常丰富的接口，通信模块以及其他功能模块，满足北斗骑行头盔的功能需求。开发工具，比较齐全，开发资料也比较丰富。基本上不需要外部的硬件扩展。在功耗方面控制得比较好，并且实时性比较强，在长途的骑行距离能保持中等功耗。

### 2.2.2 电池

电源采用 3.7V103450 锂电池。

### 2.2.3 传感器

压力传感器单元。此头盔采用的是差压压力传感器。压力传感器位于缓冲层与外壳相连接<sup>[5]</sup>。但头盔受到猛烈撞击时，压力传感器会传送电信号给单片机，再由单片机输出进一步命令给其他单元。

速度传感器单元。此头盔采用的时角速度传感器，同时集成了旋转式速度传感器、转动脉冲传感器。接触式旋转式速度传感器与头盔直接接触，当头盔与旋转式速度传感器接触时，摩擦力使传感器的滚轮发生转动。安装在滚轮上的转动脉冲传感器，发送出一连串的脉冲，由于每个脉冲代表着一定的距离值，从而就能测出线速度。

### 2.2.4 北斗模块

北斗模块是用户部分，它捕捉并跟踪北斗卫星的信号，根据数据按一定的方式进行定位计算，最终得到用户的经纬度、高度、速度、时间等信息<sup>[6]</sup>。北斗模块能够在保持最低系统功耗的同时拥有最大灵敏度，模块内部的 Flash 插件可以进行程序升级从而支持不同的应用程序。拥有额外的前置 LAN 用于优化 RF 性能，容易于与天线集成，并且前部的 SAW 滤波器加强了抗干扰性能。

### 2.2.5 报警模块

当单片机接收到压力传感器传来的电信号时，报警器响起并亮灯，若受伤者附近有人，就算受伤者意识不清或昏迷，附近的人听到报警声和看到报警灯光，也会第一时间过来查看情况，这时就给受伤者增加了宝贵的救援时间<sup>[7]</sup>。等待救援时间缩短，医院和警署能够点对点的到达事发地对伤者进行救助和交通疏导。

---

## 2.2.6 蓝牙模块

头盔内置的蓝牙模块采用 I800-Serial-Mode，具有低功耗、高灵敏度、支持 AT 指令等特点。头盔为从设备，手机软件为主设备，当二者建立通信时，由主端进行查找，发起配对。

## 2.3 产品功能

### 2.3.1 实时定位功能

头盔内置的 Vnet8 双频北斗接收机实时接收北斗卫星发出的位置和时间的信号，并且可同步获得从用户到卫星的距离信息，实现实时定位的功能。另外 Vnet8 双频北斗接收机除了定位更加精准之外，还具有系统稳定性、数据真实可靠、实时采集、多模式通信、兼容性强、易于管理等优秀性能。

### 2.3.2 轨迹记录功能

接收器对接收到的信号的经纬度与其地图上道路的经纬度进行对比，若比较获取信号点处于已有道路上，则将途径记录下来，否则将导航对象的经纬度记录下来，并将所述轨迹保存到系统电子地图数据库。

### 2.3.3 偏轨提示功能

在用户进行导航时，若在没有路段记录的轨迹行驶时，或者偏离预置的一定的轨迹阈值时，将会提醒用户已经偏航。

### 2.3.4 遇险报警功能

头盔内集成的传感器感受到头盔存在异常时，发送报警信号，北斗卫星接收信号并通过基站将信号传输给医院、警署。医院将根据定位信息对患者进行及时的救助，警署则在必要的情况下出警解决纠纷，同时通过北斗头盔组成的网络，将前车事故等路况信息发送给事故地点附近正在使用此头盔的用户，避免了事故加剧、交通拥堵的情况。

### 2.3.5 行车记录功能

行车记录功能是通过全玻璃的镜头实时记录并持续更新头盔前方、周围的路况，包括记录骑行时的速度、转向和刹车等信息数据，在调查交通事故责任时起到重要作用。另外全玻璃的镜头透光性、对光的敏感程度、灵敏度都优于塑胶镜头。

## 2.4 北斗安全头盔监测系统设计指标

团队提出了一种基于北斗系统具有实时监测与报警功能的骑行头盔，监测终端的尺寸尽可能小于 50\*50mm，定位精度指标要求在 5 米以内，骑行头盔监测终端可以接收到北斗卫星信号。监测平台软件通过读取解析监测终端的信号来获取骑手的位置信息，然后将读取到的定位数据实时存储，并通过监测平台来实现对骑手的实时定位，技术指标如下：

- (1) 定位终端尺寸小与 50\*50mm，便于安装在骑行头盔上；
- (2) 工作电压范围灵活 2.0~3.6V；
- (3) 100 米内定位精度小于 3 米；
- (4) 存储容量达到 16GB。

## 3 监测平台软件设计与实现

北斗安全头盔移动客户端采用微信小程序实现，微信小程序具有使用简单，开发维护成本低，轻便，无需安装等特点，适用于功能简单，代码量低的程序开发。微信小程序的开发平台为微信开发者工具，微信开发者工具是基于 Java Script 语言的集成大量组件和 API 的开发平台。

北斗安全头盔的软件设计思路如图 3-1 所示。

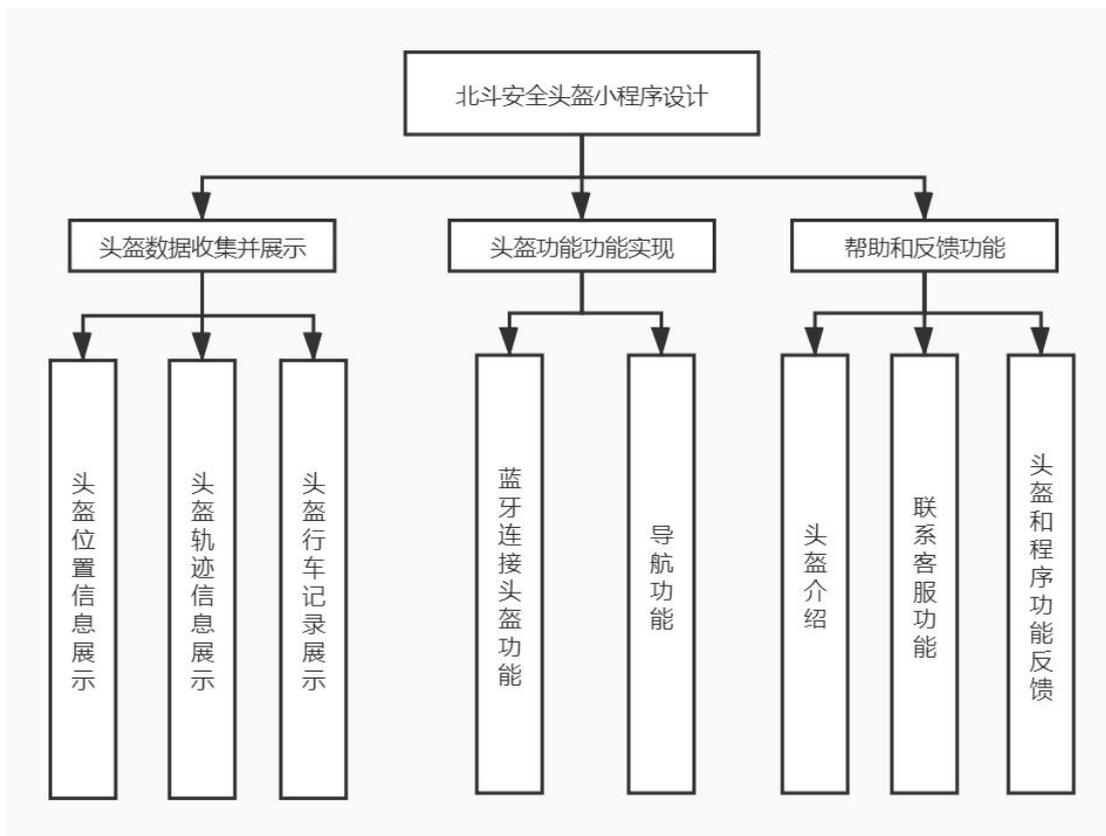


图 3-1 软件设计图

### 3.1 小程序二维码（体验版）



图 3-2 小程序二维码

### 3.2 首页和帮助界面

首页界面包含连接头盔、轨迹查询、导航、头盔位置、行车记录功能，如图 3-3。帮助界面包含产品介绍、联系客服和产品反馈模块，如图 3-4 所示。



图 3-3 小程序主页面



图 3-4 小程序产品反馈界面

### 3.3 连接头盔和轨迹查询界面

在连接头盔界面可以对头盔进行蓝牙配对，如图 3-5 所示。在轨迹查询界面可以对当天行驶轨迹和历史行驶轨迹进行查询，如图 3-6 所示。



图 3-5 连接蓝牙界面



图 3-6 小程序轨迹查询界面

### 3.4 导航和和头盔位置界面

导航界面采用腾讯地图路线规划插件，可以在此界面进行导航和路线规划，并且通过头盔耳机播放导航信息，如图 3-7。在头盔位置界面可以对北斗头盔进行定位，并且可以显示出头盔的具体位置和自身位置，便于对头盔的寻找，如图 3-8。



图 3-7 小程序进行导航界面



图 3-8 显示头盔位置的界面

### 3.5 行车记录和产品介绍界面

行车记录界面可以查看前几日和当日的出行日志和视频，如图 3-9。产品介绍界面可以查看产品相关信息和介绍视频，如图 3-10。



图 3-9 行车记录界面

### 3.6 联系客服和产品反馈界面

在客服界面可以向客服提出相关问题，如图 3-11。在产品反馈界面可以对头盔和程序提出反馈，如图 3-12。



北斗头盔的应用介绍:

外卖员在行驶时因为拿起手机看导航信息，违反了交通规则、甚至生命安全受到威胁。

因此我们提出一种基于北斗导航卫星系统的智能头盔，具有实时监控、轨迹查询、偏轨提醒等功能。

在遇到意外时，头盔内集成的传感器感受到头盔存在异常时，发送报警信号，北斗卫星接收信号并通过基站将信号传输给医院、警署。医院将根据定位信息对患者进行及时的救助，保证了抢救的黄金时间。

图 3-10 产品介绍界面



图 3-11 客服界面



图 3-12 产品反馈界面

---

### 参考文献

- [1] 星,杨岱宗,郭梦瑶.基于北斗系统的交通环境现实增强头盔系统设计[J].甘肃科技纵横,2020,49(05):18-20+8.
- [2] 雪妍,黄志强,张清文,郭奕臻.基于北斗及移动网络的外卖配送智能安全头盔[J].电子世界,2019(11):27-28.
- [3] 辰燕.矿用智能化安全头盔设计研究[D].中国矿业大学,2019.
- [4] 振.基于 STM32 的智能化应急救援头盔设计与实现[D].中国矿业大学,2018.
- [5] 元丰.智能消防员头盔的研制[D].哈尔滨工业大学,2017.
- [6] 晓东.模块化智能头盔的应用设计研究[J].包装工程,2015,36(22):88-91+115.
- [7] 吉光.基于摩托车事故重建的头盔损伤防护性能研究[D].湖南大学,2013.

---

## 北斗/GNSS 数据质量评估及对比分析

作者：应雨露

指导教师：吴汤婷

学校：东华理工大学

---

**【摘要】** GNSS 观测数据质量评估是 GNSS 数据预处理的关键，其质量优劣可直接影响导航与定位服务的准确性、可靠性、可用性。因此，本文通过江西某 CORS 站实测三系统数据，从信噪比、多路径等指标方面进行质量评估。初步评估结果表明：在信噪比方面，BDS-3 要优于 BDS-2、GPS 和 Galileo，但差异较小；在伪距多路径方面，BDS-3 在 B3I 和 B2I 上要优于 BDS-2，且并未出现 BDS-2 和 GPS 中存在的卫星端伪距偏差；在相位多路径方面，BDS-2 和 GPS 存在明显的卫星频间钟差偏差，通过小波分解与重构可有效修正卫星频间钟差偏差。

**【关键词】** BDS, GNSS, 多路径, 信噪比

**【Abstract】** The quality evaluation of GNSS observation data is the key of GNSS data preprocessing, and its quality can directly affect the accuracy, reliability and availability of navigation and positioning services. Therefore, based on the measured data of three systems at a CORS station in Jiangxi Province, this paper evaluates the quality from the aspects of signal-to-noise ratio, multipath and other indicators. Preliminary evaluation results show that BDS-3 is better than BDS-2, GPS and Galileo in signal-to-noise ratio, but the difference is small; BDS-3 is better than BDS-2 in B3I and B2I in pseudo range multipath, and there is no satellite pseudo range deviation in BDS-2 and GPS; In the aspect of phase multipath, BDS-2 and GPS have obvious inter frequency clock offset, and the inter frequency clock offset can be effectively corrected by wavelet decomposition and reconstruction.

**【Key words】** BDS, GNSS, Multipath, SNR

---

### 引言

随着人工智能和互联网+技术的深度融合，智能化测绘成为测绘行业新常态，时空位置服务和智能协同精度需求将逐步提升<sup>[1,2]</sup>。卫星导航观测数据作为位置解算的重要基础，其数据质量优劣可直接影响位置服务精度<sup>[2,3]</sup>。

目前已有较多学者开展了数据质量分析方面的研究。文献[1]运用 TEQC 软件对 BDS /GPS/ GLONASS/Galileo 定位数据进行质量评估，表明 BDS 与 GPS 质量相当，但在多路径误差方面略大。文献<sup>[2]</sup>基于 iGMAS 跟踪站数据，从载噪比、观测噪声和多路径效应等方面进行质量评估，表明 BDS-3 卫星观测数据质量良好。文献<sup>[3]</sup>基于 BDS-3 卫星观测数据，从载噪比、多路径和观测噪声方面进行质量评估，表明 BDS-3 质量优于 BDS-2。文献[4]选用 21 个 MGEX 观测站的观测数据对 BDS/Galileo/GPS 系统进行质量评估，表明 Galileo 数据质量稍优于 BDS 和 GPS，且 BDS 与 GPS 质量相当。文献[5]通过 Galileo 导航系统观测值，从信噪比、单差残差和非差观测值精度等方面进行质量评估，

表明 Galileo 质量优于 GPS 和 BDS。因此，本文通过江西某 CORS 站的实测数据，进行 BDS-2、BDS-3、Galileo 和 GPS 的质量评估分析。

## 1 数据质量评估指标

### 1.1 信噪比

信噪比（SNR）是接收机的载波信号强度与噪声强度的比值，单位为 dB-Hz。主要受到卫星发射设备日益增加、接收机中相关器的状态、卫星与接收机的几何距离，以及多路径效应等因素的共同影响，它不仅能反映接收机的性能，也可以反映出卫星信号质量。信噪比越高，信号质量越好，观测精度越高<sup>[6]</sup>。通常可以从观测文件中直接获取每颗卫星各个历元的信噪比值。一般信噪比越高，观测信号的质量越好，反映接收机信号捕获和跟踪性能越好<sup>[7]</sup>。信噪比（SNR）定义为信号功率  $P_R$  与噪声功率  $N$  之间的比率，其具体公式如下：

$$SNR = \frac{P_R}{N} \quad (1)$$

### 1.2 伪距多路径

假如测站周围的反射物所反射的卫星信号（反射波）进入天线，将和直接来自卫星的信号（直接波）产生干涉，从而引起观测值偏离真实值，这时观测值与真值的误差就称为多路径误差（MP），这种由于多路径的信号传播所引起的干涉延迟效应称为多路径效应<sup>[8]</sup>。在 GNSS 数据质量分析中，多路径效应是一种重要的误差来源，将会严重影响观测数据的评定精度，多路径效应可以由载波相位观测值、伪距相位观测值和整周模糊度来表示，公式为：

$$\left. \begin{aligned} MP1 &= -\frac{f_1^2 + f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 L_1 + \frac{2f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 L_2 + p_1 - \lambda_1 N_{p_1} \\ MP2 &= -\frac{2f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_1 L_1 + \frac{f_1^2 + f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \lambda_2 L_2 + p_2 - \lambda_2 N_{p_2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中， $L_1$ 、 $L_2$  为载波相位观测值； $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  为  $L_1$ 、 $L_2$  波长； $f_1$ 、 $f_2$  为  $L_1$ 、 $L_2$  频率； $N_{p_1}$ 、 $N_{p_2}$  为  $L_1$ 、 $L_2$  模糊度； $p_1$ 、 $p_2$  为  $L_1$ 、 $L_2$  伪距观测值； $MP1$ 、 $MP2$  为  $L_1$ 、 $L_2$  的伪距多路径。

### 1.3 相位多路径

当观测数据中某一卫星系统存在三频载波相位观测值时，便能够判别相位多路径值的变化，它是通过两个双频无电离层组合相减得其计算公式<sup>[9]</sup>：

$$DIF(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3) = \left( \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} - \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} \right) \cdot \lambda_1 \varphi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \lambda_2 \varphi_2 + \frac{f_3^2}{f_1^2 - f_3^2} \cdot \lambda_3 \varphi_3 \quad (3)$$

式（3）为无几何距离和无电离层组合，简称 GFIF 组合，其涵盖了组合模糊度项，接收机的噪声、相位多路径和硬件延迟项。通过多个历元取平均得到 GFIF 均值，再将 GFIF 系列减去该均值便可计算出相位多路径波动变化，其反映的是三个频率上的相位多路径的加权情况<sup>[9,10]</sup>。

## 2 实验数据分析

本文采用江西某 CORS 站 2020 年 03 月 04 日的实测数据，采样率为 10s，观测时长为 24h。受江西某 CORS 站所处地理位置条件影响，接收机能跟踪到的卫星和信号包括 32 颗 BDS（B1I，B2I，B3I）、16 颗 Galileo（E1，E5a，

E5b)、12 颗 GPS (L1, L2, L5), 站点卫星可见性情况见图 1。此外, 由于接收机板卡并未设置 BDS-3 新频点信号, 因此未将 BDS-3 新频点 (B1C, B2a) 列为分析对象。

通过图 1 可知, 卫星可见性情况好坏依次为 BDS-2、BDS-3、GPS 和 Galileo。尽管 BDS-2 卫星可见性最优, 但也存在个别 BDS-2 C11、C14 卫星可见性较短且不连续; BDS-3 卫星整体可见性较为良好; GPS 卫星可见性分布较为均匀、稳定; Galileo 可见性状况较为零散、分段。通过 BDS-2、BDS-3、GPS 和 Galileo 卫星可见性情况, 可直观查看各卫星系统的起始时段和终止时段, 便于后续的质量评估分析及时段切割。

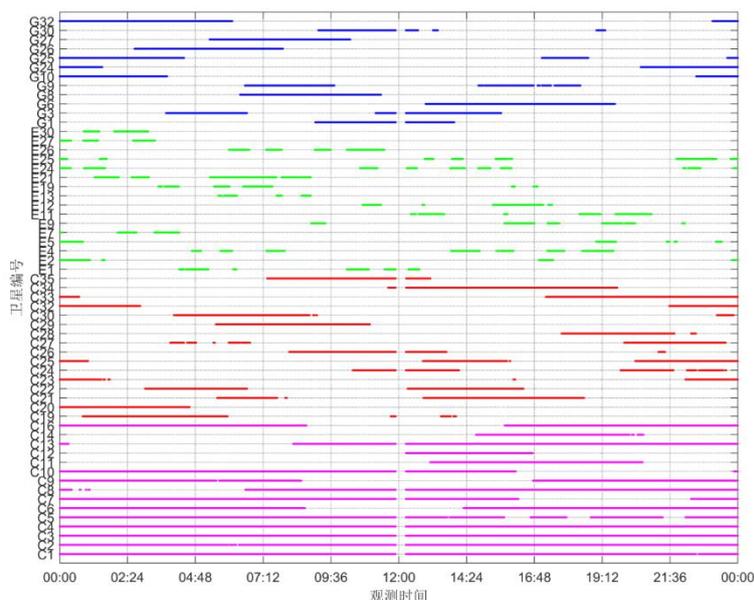


图 2-1 BDS-2, BDS-3, Galileo 和 GPS 卫星可见性图

### 3 信噪比分析

#### 3.1 多频点单卫星信噪比分析

图 2 为 C06, C29, E19, G01 卫星各频点的信噪比随高度角变化情况, 可知, 各频点的信噪比均随着高度角的增大而呈现增大的趋势。对于 C06 卫星, B3I 和 B2I 的信噪比趋势近乎相同, 两频点 RMS 值仅相差 0.78dB-Hz, B1I 的信噪比略低于 B3I 和 B2I。在 C06 同一高度角区域内, B1I 的信噪比要低 B3I 将近 3dB-Hz 左右, 且差值分布也并不均衡, B1I、B2I、B3I 的信噪比在低高度角区间内基本上重合, 而在高高度角区间内, B2I、B3I 基本重合, B1I 与两者间偏差略大。对于 C29 卫星, B1I 和 B3I 的信噪比情况与 BDS-2 频点的信噪比趋势基本相似, 原因是 BDS-3 和 BDS-2 均采用重合频点。但 BDS-3 B1I、B3I 的信噪比范围集中在 [35,50]dB-Hz 区间, BDS-2 B1I、B3I 的信噪比范围则集中在 [25,50]dB-Hz 区间, 表明 BDS-3 在 B1I、B3I 的信噪比要略好于 BDS-2。

对于 E19 卫星, 各频点的信噪比大小依次为 E1, E5b, E5a, 但三者相差较小, 基本处于重合状态, 三者 RMS 值仅相差 1.2dB-Hz 内。对于 G01 卫星, 各频点的信噪比大小依次为 L5, L1, L2, 相比于 C06、C29 和 E19 各频点的信噪比基本处于相同情况, G01 L5、L1、L2 的信噪比差异则较为显著, 其 L2 与 L5 信噪比 RMS 差值达到 12dB-Hz。通过卫星各频点的信噪比随高度角变化情况可知, C29 上信噪比最优, 其次为 C06、G01、E19。

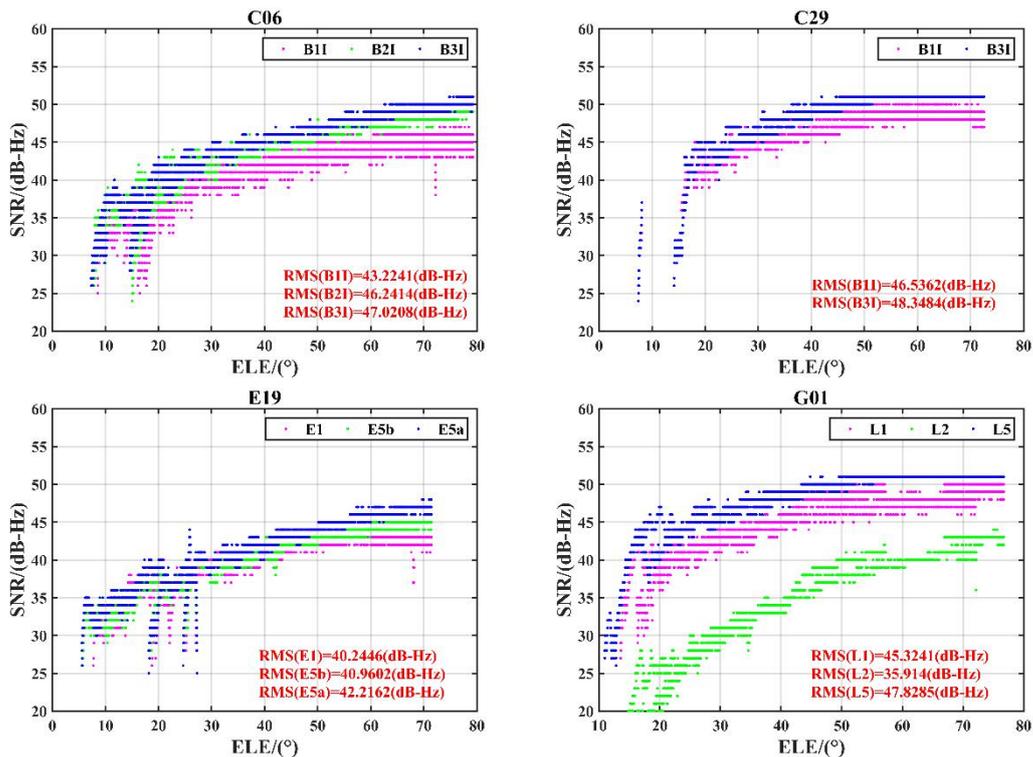
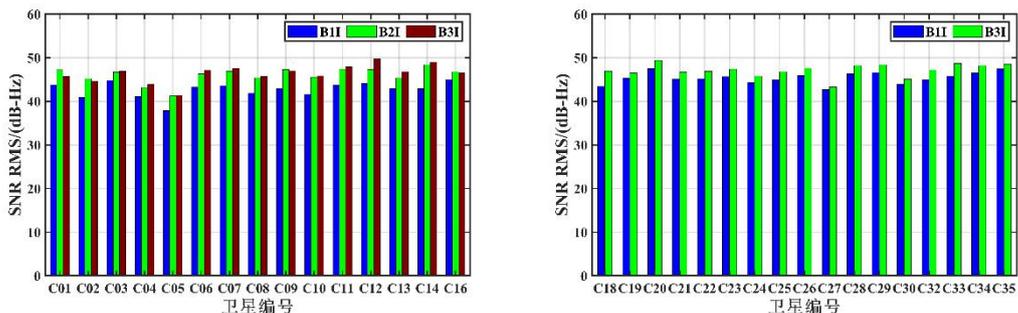


图 3-1 C06, C29, E19, G01 卫星各频点的信噪比随高度角变化图

### 3.2 多卫星单频点信噪比分析

图 3 为 BDS-2, BDS-3, Galileo, GPS 卫星的信噪比情况, 对于 BDS-2 卫星, 各频点的信噪比大小关系为  $B3I > B2I > B1I$ , C5 各频点的信噪比为 BDS-2 内最低值, B1I 的信噪比最大值卫星为 C03 和 C16, B2I 的信噪比最大值为 C09 和 C11, B3I 的信噪比最大值为 C12 和 C14。对于 BDS-2 和 BDS-3 卫星, 两者在 B3I 的信噪比值差异程度较小, 而在 B1I 的信噪比上, BDS-3 略好于 BDS-2。

对于 Galileo 卫星, 各频点的最小信噪比卫星为 E13, 最大信噪比卫星为 E05, 各卫星间差值基本为  $[4, 10]$  dB-Hz, 可见 Galileo 各卫星频点的信噪比值处于良好状态。对于 GPS 卫星, 各频点的最小信噪比卫星为 E13, 最大信噪比卫星为 E05。在 12 颗 GPS 卫星信噪比中, L5 和 L1 的信噪比数据几乎趋于一致, L2 稍低于两者 7 dB-Hz。由于 BDS B2I 频点与 Galileo E5b 为重合频点, B2I 和 E5b 的信噪比都基本处于  $[42, 48]$  dB-Hz 区间内, 表明 BDS 和 Galileo 在信噪比方面并未存在明显差异, 其数值基本相当。通过 BDS-2, BDS-3, Galileo, GPS 卫星的信噪比变化情况可知, BDS-3 的信噪比最优, 其次为 BDS-2、GPS 和 Galileo。



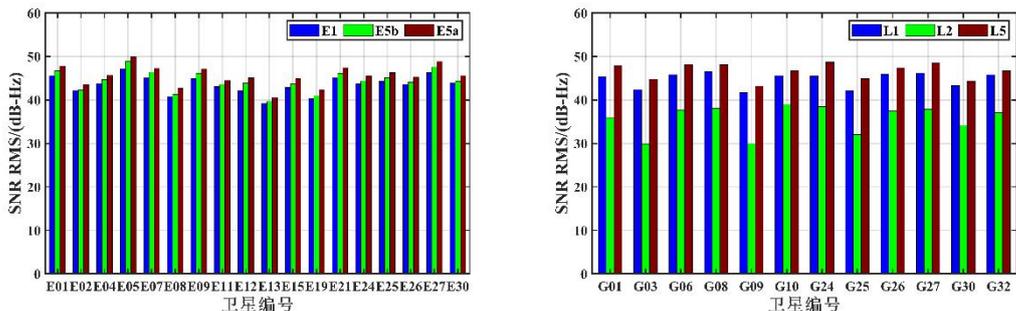
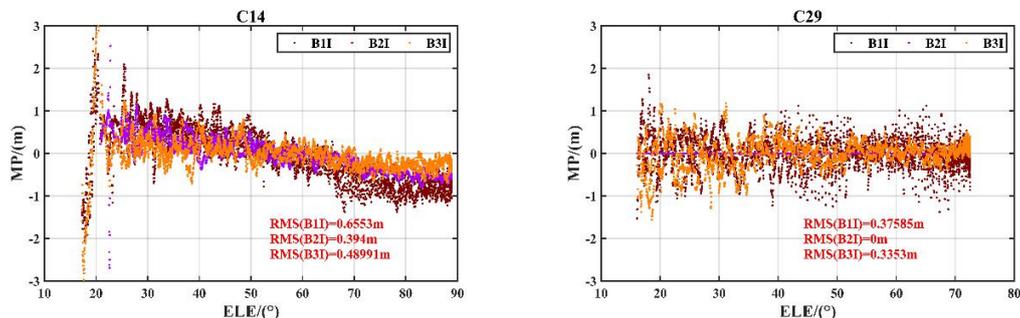


图 3-2 BDS-2, BDS-3, Galileo, GPS 卫星的信噪比图

#### 4 伪距多路径分析

图 4 为 C10, C29, E21, G01 卫星伪距多路径随高度角变化情况。从图可知, 伪距多路径值基本在  $\pm 1\text{m}$  内变化, 且随着高度角的增大呈现变小的趋势。对于 C14 卫星, 各频点的伪距多路径大小依次为 B1I, B3I, B2I, B2I 和 B1I 的伪距多路径最大差值有  $0.26\text{m}$ , 在  $[50,90]^\circ$  高度角区间内, C14 卫星伪距多路径存在明显的偏离。诸多学者通过建模解析, 证实此偏差是与高度角相关, 与卫星相关, 与测站无关的伪距偏差, 此偏差会导致 MW 组合存在系统性偏差, 进而减低宽巷模糊度固定<sup>[11-13]</sup>。对于 C29 卫星, 各频点的伪距多路径基本稳定在  $[-0.5,0.5]\text{m}$  内, B3I 的伪距多路径要略低于 B1I。相较于 C14 的伪距多路径值, C29 的伪距多路径为  $0.35\text{m}$  左右, 可见 BDS-3 在 B1I 与 B3I 的伪距多路径误差情况要优于 BDS-2。C29 和 C14 的伪距多路径值在低高度角均比高高度角区间要略大。其次, BDS-3 并未存在卫星端伪距偏差, 通过采用 BDS-3 数据能有效提升精密单点定位解算精度。

对于 E21 卫星, 各频点的伪距多路径大小依次为 E1, E5a, E5b。由于卫星出现失锁情况, 导致伪距多路径出现明显波动。E1 的伪距多路径值大约为  $1.5\text{m}$ , 其严重超出  $0.5\text{m}$  的阈值。其次, E21 E5b 和 E5a 虽处于阈值范围内, 但其数据量较少, 不利于精密单点定位解算, 因此, 在数据处理时, 需将其切割或禁用。对于 G01 卫星, 各频点的伪距多路径大小依次为 L5, L2, L1。L2 和 L5 的伪距多路径基本形同, 其 RMS 值结果仅相差  $0.06\text{m}$ 。此外 G01 的伪距多路径值在  $[10,30]^\circ$  高度角区间内波动较大, 而在  $[60,80]^\circ$  高度角内波动则较小。因此, 综上可述, G01 的伪距多路径最小, 依次递增为 C29、C14 和 E21。



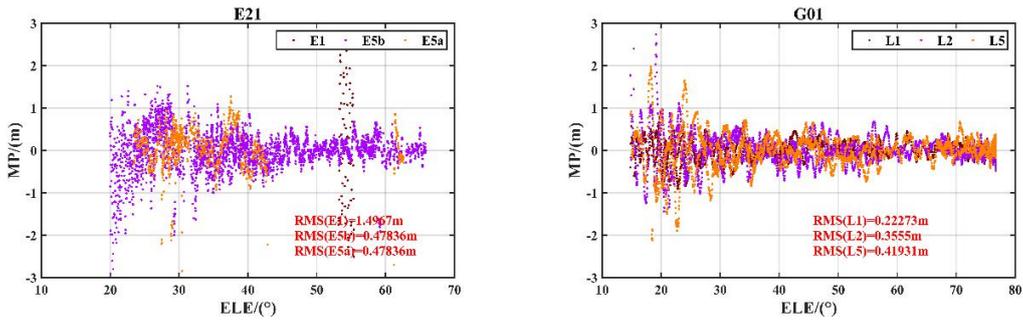


图 4-1 C10, C29, E21, G01 卫星伪距多路径随高度角变化图

## 5 相位多路径分析

由于实测数据仅涵盖 BDS-3 B1I 和 B3I 两个频点，无法参与相位多路径解算。因此，主要分析 BDS-2、Galileo、GPS 的相位多路径值情况，分析的频点类型为 BDS-2 (B1I、B2I、B3I); Galileo (E1、E5a、E5b); GPS (L1、L2、L5)。

图 5 为 C03, C06, E21, G27 卫星相位多路径与高度角的时间序列，可知，各频点的相位多路径均随着高度角的增大而呈现减小的趋势。对于 C03 和 C06 卫星，其相位多路径大小基本在  $\pm 2\text{cm}$  内变化。C06 在 [9:36, 14:24] 时段内存在缺失现象，且两颗 BDS-2 卫星相位多路径波动起伏并不一致，与卫星间的高度角变化差异有所关联。此外，C03 和 C06 卫星的相位多路径趋势存在一定偏差。此偏差通过查阅文献所知为卫星频间钟差偏差 (IFCB)，是由于频间偏差 (IFB) 被卫星钟差所吸收形成的，会导致卫星钟差间出现不一致性<sup>[14,15]</sup>。对于 E21 卫星，相位多路径基本在  $\pm 1\text{cm}$  内变化，相对于 BDS-2 偏小，且呈现零均值噪声特性。对于 G27 卫星，相位多路径波动较为显著，与 BDS-2 的相位多路径趋势相类似，存在明显的卫星频间钟差偏差。

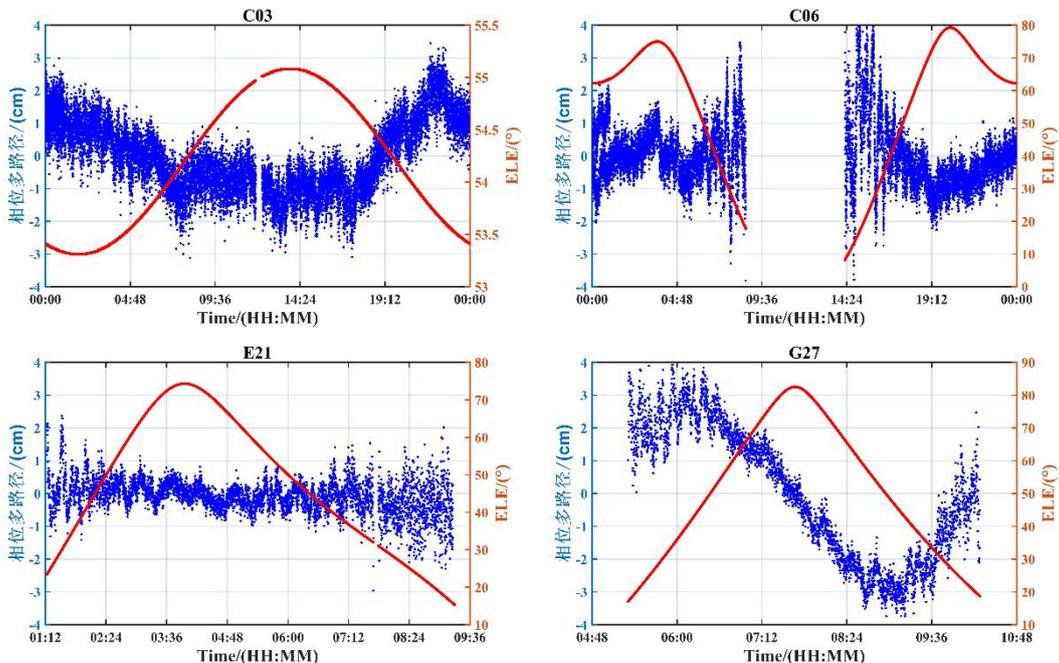


图 5-1 C03, C06, E21, G27 卫星相位多路径与高度角时间序列

图 6-7 分别为 G26 小波分解和重构前后的相位多路径时间序列图，从图可知，在小波分解和重构前，G26 的相位多路径存在明显卫星频间钟差偏差。通

过将 G26 中卫星频间钟差偏差修正，能够得到 G26 真实相位多路径大小。本文采用采用小波分解和重构来修正明显卫星频间钟差偏差，小波分解与重构是将信号分解为高频和低频两部分，通过获取低频的信号特征数据，来去除高频的噪声和干扰<sup>[9]</sup>。在小波分解和重构后，修正了 G26 的相位多路径趋势卫星频间钟差偏差，G26 相位多路径 RMS 值由 18.62mm 缩小至 3.84mm。因此，通过小波分解与重构能有效消除卫星频间钟差偏差对相位多路径所带来影响。

图 8 为 BDS-2 和 GPS 相位多路径 RMS 累计直方图，从图可知，小波分解与重构不仅适用于单颗卫星，也适用多颗卫星，具有普遍性。通过小波分解和重构后，BDS-2 和 GPS 基本消除了各卫星的卫星频间钟差偏差，BDS-2 和 GPS 相位多路径 RMS 值均缩小至 3mm 左右。

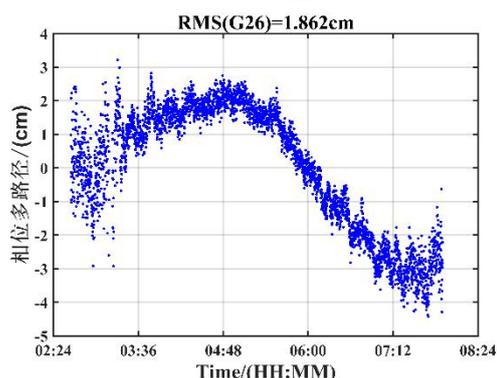


图 5-2 G26 相位多路径时间序列图

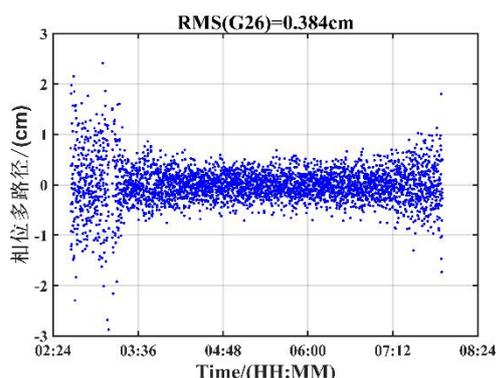


图 5-3 G26 相位多路径分解重构时间序列图

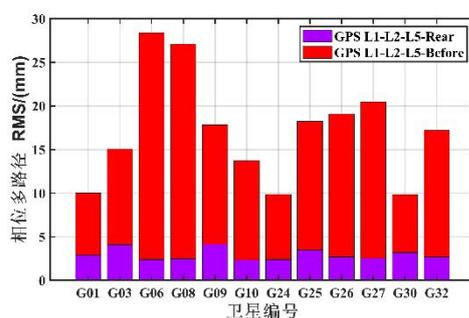
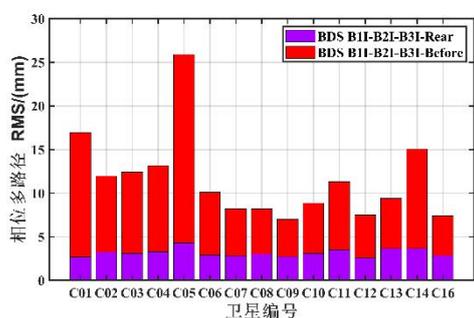


图 5-4 BDS-2, GPS 小波分解和重构相位多路径 RMS 累计直方图

## 6 结论

本文通过江西某 CORS 站实测数据对 BDS-2、BDS-3、Galileo 和 GPS 卫星各频点的信噪比、伪距多路径和相位多路径特性进行了对比分析。结果表明：

(1) 在信噪比方面，各频点的信噪比均随着高度角的增大而呈现增大的趋势。BDS-3 中 B1I、B3I 两个频点，B3I 信噪比最高，B1I 最低；BDS-2 中 B1I、B2I、B3I 三个频点，B3I 信噪比最高，B2I 其次，B1I 最低；Galileo 中 E1、E5a、E5b 三个频点，E5a 信噪比最高，E5b 和 E1 其次且基本相当；GPS 中 L1、L2、L5 三个频点，L5 信噪比最高，L1 其次，L2 最低。

(2) 在伪距多路径方面，各频点的伪距多路径随着高度角的增大呈现变小的趋势。BDS-3 中 B1I 伪距多路径最大，其次为 B3I；BDS-2 中 B1I 伪距多路径最大，其次为 B3I、B2I；Galileo 中 E1、E5a、E5b 三个频点，E1 伪距多路径最大，E5a 和 E5b 其次且基本相当；GPS 中 L1、L2、L5 三个频点，L5 伪

---

距多路径最大，L2 其次，L1 最低。此外，BDS-2 和 GPS 均存在卫星端伪距偏差，而 BDS-3 和 Galileo 并未出现。

(3) 在相位多路径方面，BDS-2、Galileo 和 GPS 的原始相位多路径基本稳定在  $\pm 2\text{cm}$ ，BDS-2 和 GPS 的原始相位多路径均存在明显的卫星频间钟差偏差，Galileo 并未出现。通过小波分解与重构后，BDS-2 和 GPS 的相位多路径 RMS 值缩小至 3mm 左右。

(4) 由于小波分解与重构算法采用硬阈值进行卫星间批量处理，其存在一定观测数据损失，会将有效信号数据过滤处理，降低数据量。因此，后续可研究软阈值的小波分解与重构算法，以减小有效数据的损失。

---

## 参考文献

- [1] 郭亮亮, 李建文, 刘瑞宁. 多系统 GNSS 观测数据质量检测与分析[J]. 地理空间信息, 2018,16(03):39-42+9.
- [2] 张楷时, 焦文海, 李建文. 北斗三号 MEO 组网卫星数据质量评估[J]. 测绘科学技术学报, 2018,35(03):265-269.
- [3] 程军龙, 王旺, 马立辉, 刘万科. 北斗三号观测数据质量及定位精度初步评估[J]. 测绘通报, 2019(08):1-7.
- [4] 谭理庆, 黄亮, 杜仲进, 叶世榕, 夏凤雨. BDS/Galileo 系统观测数据质量分析[J]. 全球定位系统, 2019,44(06):27-34.
- [5] 虞顺, 吴明魁, 刘万科, 张小红. Galileo 导航系统观测值的质量分析[J]. 测绘地理信息, 2019,44(03):51-56.
- [6] 何义磊. 北斗三号最简系统卫星信号质量分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020,45(03):394-402.
- [7] 刘琳, 席瑞杰. GPS/GLONASS/BDS/Galileo 系统载波相位观测值质量对比分析[J]. 全球定位系统, 2019,44(01):16-22.
- [8] 曾添, 贾小林, 隋立芬, 肖国锐, 田翌君, 吕志鹏. 北斗三号组网卫星数据质量分析及单系统定轨精度初步评估[J]. 大地测量与地球动力学, 2019,39(11):1165-1170.
- [9] 虞顺. BDS-3 试验星/Galileo 卫星观测数据质量评估方法与结果对比分析[D]. 武汉大学, 2017.
- [10] 尹志豪, 王广兴, 胡志刚, 薄亚东. 北斗三号观测数据质量分析[J]. 测绘科学, 2020,45(06):37-45.
- [11] 唐成盼, 宿晨庚, 胡小工, 高为广, 刘利, 卢鋈, 陈颖, 刘成, 王威, 周善石. 北斗卫星伪距偏差标定及对用户定位精度影响[J]. 测绘学报, 2020,49(09):1131-1138.
- [12] 饶鹏文, 王潜心. 一种改进的北斗导航卫星伪距偏差修正策略[J]. 测绘科学, 2020,45(07):1-10.
- [13] 李昕, 曾琪, 管守奎. 北斗卫星伪距多路径偏差改正研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2016,36(08):727-731.
- [14] 李浩军, 朱卫东. 北斗导航系统卫星频间钟差偏差[J]. 测绘学报, 2014,43(11):1127-1131.
- [15] 李黎, 李浩军, 龙四春, 张立亚. GPS Block IIF 卫星频间钟差偏差分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2014,34(03):169-172.

---

## 北斗导航信息辅助的单兵 MEMS 自主导航系统绝对定位方法

作者：栗志昊、陈开霖

指导教师：张伦东

学校：战略支援部队信息工程大学

---

**【摘要】**：单兵自主导航定位技术与射频、超宽带、蓝牙等定位技术不同，不用事先布设基站，仅仅依靠自身携带的陀螺仪和加速度计再结合人员行走的特点即可完成导航定位，特别适合应用于遂行消防救援、抢险救灾、反恐作战等特殊任务的人员。但这是一种相对定位模式，只能得到单兵人员相对出发点的位置信息，如果想得到与卫星导航一样的经纬度坐标，还需要出发点的经纬度坐标和单兵人员行走时的航向角。出发点的经纬度坐标可以通过卫星导航进行初始化得到，但是单兵导航使用的微机械（MEMS）陀螺仪和加速度计等惯性器件的误差比较大，引入的零速修正算法也不能通过测量地球自转得到行走时的航向角，只能计算相对于前一个位置的相对航向。因此，传统的单兵自主导航方法只能得到以出发点作为原点的相对坐标而很难输出经纬度坐标。

为了与卫星导航的经纬度信息匹配，并且将单兵位置更好地显示在导航地图中，本文利用北斗导航信息辅助，提出了一种将单兵自主相对定位信息转换成经纬度绝对定位信息的方法。当单兵处于室外时，根据 MEMS 惯性器件计算的单兵相对坐标和北斗导航得到的单兵绝对位置，利用坐标系之间的转换关系，提出了一种基于 RANSAC 和最小二乘相结合的方法，将质量较差的卫导数据剥离，求解从相对坐标转换为绝对坐标的转换参数；当单兵行走到室内时，没有卫星导航信号，根据上一步的转换参数和 MEMS 计算的人员相对运动参数，解算得到单兵的运动轨迹，实现绝对位置的确定。

实验利用 MTI-700MEMS 组合导航系统进行验证，结果表明，该方法成功实现了由 MEMS 相对坐标向导航坐标的转换，定位精度优于行走距离的 1%。

**【关键词】**：单兵绝对定位, MEMS, 零速检测, RANSAC, 最小二乘法

**【 Abstract 】** Individual soldier autonomous navigation and positioning technology is different from radio frequency, ultra wideband, Bluetooth and other positioning technologies. It does not need to set up a base station in advance, but only relies on its own gyroscope and accelerometer, combined with the characteristics of personnel walking, to complete the navigation and positioning. It is especially suitable for personnel carrying out special tasks such as fire rescue, disaster relief and anti-terrorism operations. However, this is a relative positioning mode, which can only get the position information of the individual soldier's relative starting point. If you want to get the same latitude and longitude coordinates as satellite navigation, you also need the latitude and longitude coordinates of the starting point and the heading angle of the individual soldier when walking. The longitude and latitude coordinates of the starting point can be initialized by satellite navigation, but the errors of MEMS gyroscopes, accelerometers and other inertial devices used in individual navigation are relatively large, and the zero speed correction algorithm can not get the heading angle by measuring the earth rotation, but can only calculate the relative heading relative to the previous position. Therefore, the traditional single soldier autonomous navigation method can only get the relative coordinates with the starting point as the

---

origin, but it is difficult to output the longitude and latitude coordinates.

In order to match the longitude and latitude information of satellite navigation, and display the position of individual soldier better in the navigation map, this paper uses Beidou navigation information to assist, and proposes a method to convert individual soldier's independent relative positioning information into longitude and latitude absolute positioning information. When a soldier is outdoors, according to the relative coordinates calculated by MEMS inertial devices and the absolute position of a soldier obtained by Beidou navigation, a method based on RANSAC and least squares is proposed to separate the poor quality navigation data and solve the conversion parameters from relative coordinates to absolute coordinates by using the conversion relationship between coordinate systems. There is no satellite navigation signal. According to the conversion parameters in the previous step and the relative movement parameters of personnel calculated by MEMS, the movement trajectory of individual soldier can be calculated, and the absolute position can be determined.

The experimental results show that the method successfully realizes the conversion from MEMS relative coordinates to navigation coordinates, and the positioning accuracy is better than 1% of the walking distance.

**【Key words】** Individual soldier, Absolute, ZUPT, RANSAC, Ordinary least squares

---

## 1 背景及意义

单兵导航系统适用对象主要为士兵、特警、消防员等特殊人员，能够在紧急救援、目标追踪、反恐作战等突发情况下，为其提供实时、精确、可靠定位信息的导航装置。但是面对突发情况，我们不能提前铺设基础设施，所以传统行人导航中 UMB、蓝牙、ZigBEE、地理信息辅助等技术手段无法应用在单兵导航领域，这就对单兵导航的自主性提出了更高的要求，也是当前单兵导航面临的最大挑战，目前还未形成能完全满足各种应用需求的成熟解决方案，即在未知环境下依靠单兵自身携带的传感器进行完全自主的导航技术。

近年来，微惯性技术的快速发展为单兵自主导航的实现创造了条件。微机械 MEMS 陀螺仪在成本、尺寸、质量、功耗等方面能够很好地满足单兵导航系统的应用需求。但是 MEMS 存在随时间累积的漂移误差并且传统零速修正算法对航向角缺乏观测，行人真实航向角与脚部解算的航向角有差值，造成行人导航航向发散，如果不进行及时的航向对准无法得到准确的绝对导航坐标，只能得到如图 1 所示的相对于 MEMS 自身坐标系统的相对坐标。而相对坐标是无法使用的，一是相对坐标无法将单兵的轨迹位置在地图软件中实时呈现出来，失去了其定位导航的功能；二是 MEMS 数据无法与卫星导航数据融合，所以单兵导航中 MEMS 的绝对定位成为急需解决的问题。

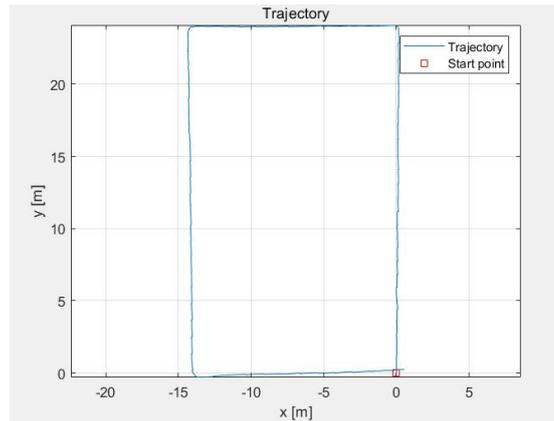


图 1-1 MEMS 输出的相对坐标无法在导航地图中使用

## 2 算法理论基础

### 2.1 基于零速修正的单兵导航方法

考虑到单兵行动中，个人携带的设备应尽量小型化，所以一般采用的是低精度，易漂移的低成本 MEMS 惯性元件，因此必须利用辅助手段抑制误差累积，这里采用的是目前应用效果比较出色的零速修正算法。

其中“零速”特指人在行走过程中脚着地时脚部处于短暂停止的零速状态。“零速修正”是指当脚部处于零速状态时，将 MEMS 的输出作为系统误差的观测测量，对卡尔曼滤波器进行更新从而对系统误差进行估计，得到状态的估计值，利用估计值对输出的导航信息进行修正，进而提高 MEMS 导航的定位精度。

本方案中将 MEMS 惯性测量元件固定于脚部，这样可以清晰检测出每种运动模式的周期性以及不同运动模式的差异性。结合实际运动状态每个步行周期可大致分为四个阶段：起步阶段、跨步阶段、落地阶段以及零速静止阶段，具体单兵形态如图 2 所示。

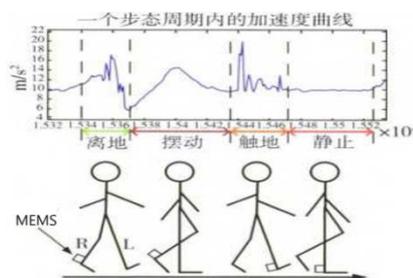


图 2-1 一个周期内的单兵运动步态

为了能够有效判断单兵的运动状态，我们以 X 轴方向角速度变化为观察对象，具体曲线如图 3 所示。（由于在水平面上 MEMS 的 X 轴方向角速度与单兵前进方向相垂直，所以在正常行走状态下 X 轴方向角速度变化是最明显的）

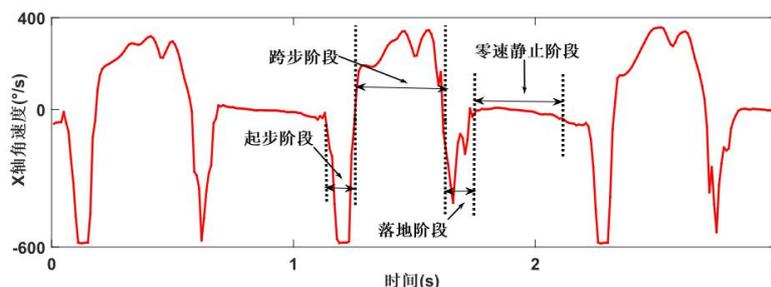


图 2-2 一个周期内 X 轴方向角速度曲线图

根据曲线变化，我们可以清晰地判断出零速阶段，从而控制惯导数据误差积累，具体算法流程如图 4 所示。

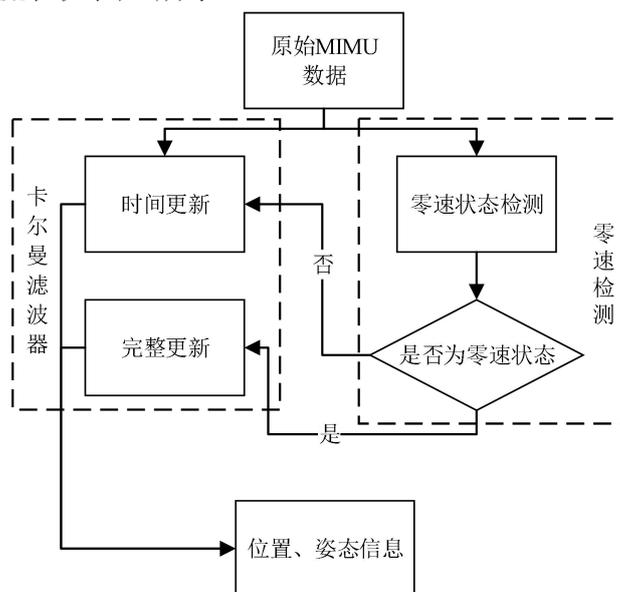


图 2-3 零速检测修正惯导数据

## 2.2 通过绝对航向对准来实现单兵 MEMS 系统绝对定位的方法

在之前的研究中，贾铮洋提出过利用导航信息辅助行人自主导航系统完成绝对定位的方案，经过改造也可以用于单兵导航领域。他的方法是在卫星信号良好的情况下，先准确测定一个初始位置的绝对坐标 $(X_0, Y_0)$ ，然后测量出卫星信号的绝对航向角 $\alpha(1)$ （如图 5-a）与 MEMS 的相对航向角 $\alpha(2)$ （如图 5-b）之间的角度差，完成 MEMS 绝对航向对准，利用初始点坐标和绝对航向完成单兵的绝对定位。但为了保证定位精度，算法需要单兵从初始位置起在固定方向上沿直线走 15 步直线，并且使用 Openshoe 零速检测修正轨迹坐标。

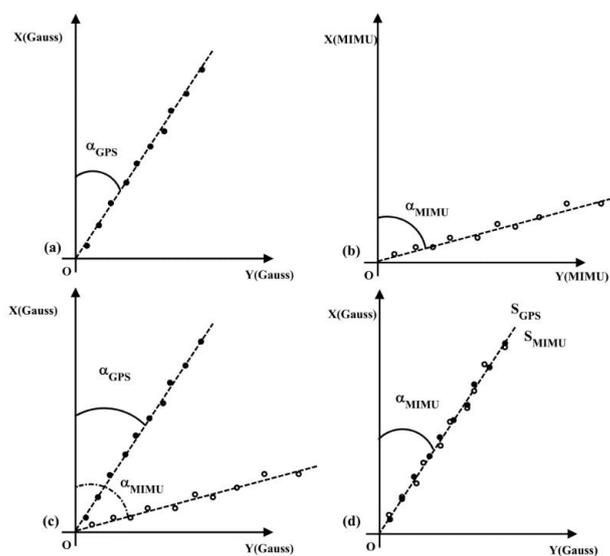


图 2-4 走固定 15 步直线去配合坐标系对准

其算法核心在于利用式（1）完成将 MEMS 坐标系与绝对导航坐标系真北方向对准，实现绝对航向的确定。

$$\begin{cases} \alpha_{tran} = \hat{\alpha}(2) - \hat{\alpha}(1) \\ T = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{tran} & \sin \alpha_{tran} \\ -\sin \alpha_{tran} & \cos \alpha_{tran} \end{pmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

$$X_{tran}(2) = T \cdot X(2) + X_0(1); X_0(1), initial\_coordinate \quad (2)$$

其中 $\alpha_{tran}$ 表示二者航向之差;  $T$ 表示航向旋转矩阵;  $X(2)$ 表示MIMU得到相对位置信息, 即 $X(2) = (X(2), Y(2))^T$ ;  $X_0(1)$ 表示起始点绝对位置信息;

$X_{tran}(2)$ 表示航向校正后得到的绝对位置信息。

该算法在单兵导航应用中存在的问题:

1. 实际作战中单兵的运动轨迹具有随机性, 在情况紧急下单兵无法刻意地走15步直线去配合航向对准, 这就导致任意小段的MEMS路径同GNSS路径匹配会存在较大的随机性, 导致定位异常。

2. 而且受限于行动场所, 卫星导航在室内、地下、城市巷道等信号不良或缺失的环境下难以完成导航任务, 且信号易被干扰, 初始位置的绝对坐标如果无法保证足够精度无法用于后面的解算, 而且由于单兵出现的任务区往往处于极端环境, 卫星信号变化很大, 如果没有有效的筛选能力, 记录得到15步的直线在拟合时会造成较大误差, 导致整个系统的鲁棒性较差。

但是该算法仍有很强的指导性和启发性: 其采用的组合零速检测算法在零速区间检测过程中, 使用自适应阈值检测, 充分考率单兵在行走的过程中各种因素的影响, 对不同步态下的零速区间进行检测漏判, 减低误判率, 非常适合应用在特殊的任务环境中。

### 3 算法实现

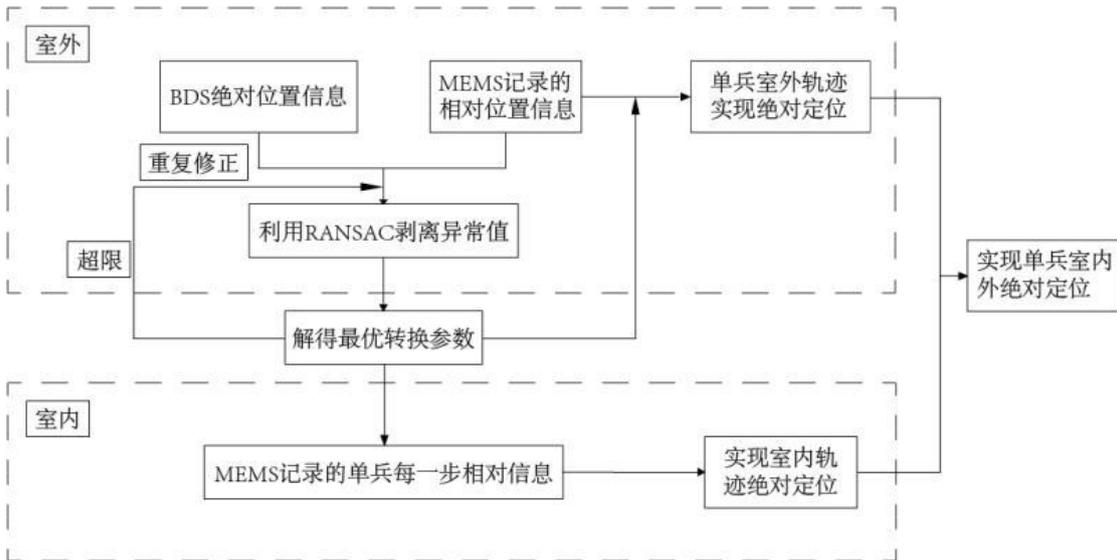


图 3-1 算法简图

### 3.1 室外单兵导航绝对定位方法

#### 3.1.1 算法思路

在理想情况下，单兵的行动轨迹始终处在 BDS 信号良好的环境，选取 6 组数据质量较好的 BDS 点位，匹配得到对应的 IMU 相对坐标，将两种数据的坐标值转换成三维坐标形式，利用坐标系之间的转换关系，按照最小二乘法求解得到从 IMU 坐标转换为 BDS 导航坐标的转换参数，实现 MEMS 的绝对定位。

#### 3.1.2 具体实现

**步骤一：**使用 Openshoe 组合零速修正法检测单兵实时运动的行为，通过式 (3) 和式 (4) 检测零速条件，得到单兵绝对运动轨迹数据。

$$A_{mutil} = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{k=i}^{k+N-1} \frac{1}{\sigma_a^2} \left\| \mathbf{a}_k - \frac{\bar{\mathbf{a}}_k}{\|\bar{\mathbf{a}}_k\|} \right\|^2 + \frac{1}{\sigma_w^2} \|\boldsymbol{\omega}_k\| < threshold_{mutil} & 1 \\ others & 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_k = \frac{1}{N} \sum_{k=i}^{k+N-1} \mathbf{a}_k \quad (4)$$

其中， $\mathbf{a}_k = [a_{xk}, a_{yk}, a_{zk}]^T$  为 k 时刻加速计三轴输出， $\boldsymbol{\omega}_k = [\omega_{xk}, \omega_{yk}, \omega_{zk}]^T$  为 k 时刻陀螺仪三轴输出； $\sigma_a^2$ ， $\sigma_w^2$  分别为加速计和陀螺仪的随机噪声方差； $\|\cdot\|$  为向量的二范数； $A_{mutil}$  分别组合检测阈值的检测条件； $threshold_{mutil}$  为角速度检测阈值和加速度方差检测阈值的组合检测阈值，当观测量小于检测阈值时认为该时刻为零速状态时刻，当不满足阈值条件时记为非零速时刻。

最后利用 MT Manager 分析 IMU 数据质量并输出 MEMS 测量的相对坐标，由于在这一步的 IMU 数据获取没有利用其他的辅助定位手段，可以极大提高运算速度，并且整套 MEMS 检测装置的体积也可以设计地很小。

**步骤二：**大地坐标与三维坐标转换

由于北斗接收机直接解算出的信息为经纬度坐标，为了建立 IMU 数据同 BDS 数据之间转换参数，我们要将测得的大地坐标转变为空间直角坐标；而且最终 MEMS 数据实现绝对定位后的坐标数据也需要经过转换输出为导航坐标系下的经纬度信息，才能在地图上显示。

**步骤三：**基于数字编码的方法匹配两种坐标数据

在进行坐标系转换前，由于 IMU 数据与导航信息分别由 MEMS 和北斗接收机获取，所以先确定一个 IMU 与 BDS 数据同时接收的点，之后按照北斗接收机接收频率与 MEMS 频率的比值关系将两种数据对应匹配起来。

**步骤四：**解算转换参数

这里 IMU 数据是  $[X^M Y^M Z^M]^T$ ，表示 MEMS 相对坐标系统下的坐标，即图中的  $O^M - X^M Y^M Z^M$  坐标系下的数据； $[X^D Y^D Z^D]^T$  表示导航坐标系统下的坐标，即图中的  $O^D - X^D Y^D Z^D$  坐标系下的数据。

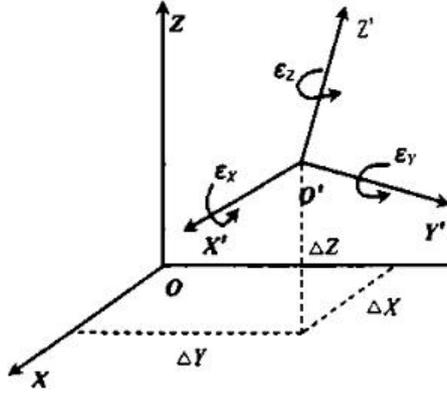


图 3-2 大角度坐标系转换

从图示中我们可以看出 MEMS 相对坐标系和导航坐标系之间坐标系原点不重合，存在三个平移参量  $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ ；两者间的坐标轴也互不平行，存在三个旋转欧拉角  $\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z$ ；另外框架之间存在尺度变化参数  $m$ ，通常令  $\lambda = 1 + m$ 。

为了实现 MEMS 数据绝对定位（即实现 MEMS 相对坐标系向导航坐标系的转换），我们将匹配好的 MEMS-BDS 数据代入转换方程（式（5）），平差得到七个未知参量。

$$\begin{bmatrix} X^D \\ Y^D \\ Z^D \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X^M \\ Y^M \\ Z^M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中  $R = R(\varepsilon_x)R(\varepsilon_y)R(\varepsilon_z)$  为坐标旋转矩阵。

但由于 MEMS 的漂移特性，这里的三个旋转参量大小无法确定，可能偏大也可能偏小，故目前大多数已有的适用于大角度空间坐标转换的模型在实际应用过程中都存在一定的缺陷。方案便在传统三维坐标转换模型的基础上，对常规的参数估计方案进行改进，将摄影测量中使用的罗德里格矩阵（式（6））运用到三维坐标转换中，建立了一种新的适用于大角度的三维坐标转换参数求解算法。算例结果表明，该方法适用于任意大小旋转角的三维坐标变换，且计算收敛较快，精度可靠，特别适应于单兵导航坐标系转换领域。

参数解算时，先将旋转矩阵  $R$  用罗德里格矩阵  $S$  和为单位矩阵  $I$  表示，

$$R = (I - S)^{-1}(I + S) \quad (6)$$

可设：

$$S = \begin{bmatrix} 0 & -c & -b \\ c & 0 & -a \\ b & a & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

在单兵导航中，考虑到开阔地信号良好，我们在这里能够获得足够数量的点位，但为了提高运算速度，更好地适应单兵导航中实时性需求，单次解算一般选取 6 个点（下式中  $n = 6$ ），按照参数平差的方法列出如下的总体误差方程：

$$V_{3n \times 1} = A_{3n \times 3} X_{3 \times 1} - L_{3n \times 1} \quad (8)$$

式中系数阵:

$$X_{3 \times 1} = [a, b, c]^T$$

$$A_{3n \times 3} = \begin{bmatrix} 0 & -(\bar{Z}_1^D + \lambda \bar{Z}_1^M) & -(\bar{Y}_1^D + \lambda \bar{Y}_1^M) \\ -(\bar{Z}_1^D + \lambda \bar{Z}_1^M) & 0 & \bar{X}_1^D + \lambda \bar{X}_1^M \\ \bar{Y}_1^D + \lambda \bar{Y}_1^M & \bar{X}_1^D + \lambda \bar{X}_1^M & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -(\bar{Z}_n^D + \lambda \bar{Z}_n^M) & -(\bar{Y}_n^D + \lambda \bar{Y}_n^M) \\ -(\bar{Z}_n^D + \lambda \bar{Z}_n^M) & 0 & \bar{X}_n^D + \lambda \bar{X}_n^M \\ \bar{Y}_n^D + \lambda \bar{Y}_n^M & \bar{X}_n^D + \lambda \bar{X}_n^M & 0 \end{bmatrix}$$

$$L_{3n \times 1} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1^D - \lambda \bar{X}_1^M \\ \bar{Y}_1^D - \lambda \bar{Y}_1^M \\ \bar{Z}_1^D - \lambda \bar{Z}_1^M \\ \vdots \\ \bar{X}_n^D - \lambda \bar{X}_n^M \\ \bar{Y}_n^D - \lambda \bar{Y}_n^M \\ \bar{Z}_n^D - \lambda \bar{Z}_n^M \end{bmatrix}$$

无需迭代即可直接求得罗德里格参数:

$$X_{3 \times 1} = [a, b, c]^T = (A_{3n \times 3}^T A_{3n \times 3})^{-1} A_{3n \times 3}^T L_{3n \times 1} \quad (9)$$

求得罗德里格参数后,可按式(6)求得由MEMS相对坐标系转换到导航坐标系旋转矩阵R,然后再根据解算出的比例因子和旋转参数,求得平移参数。七个参数解算出来后,转换方程式(5)也就完整了,将MEMS相对坐标系代入方程右边即可完成向导航坐标系的转换,即实现单兵绝对定位。

(具体公式推导见附件.附录一,算法代码见附件.附录三)

步骤五:重复修正

虽然零速检测算法可有效处理MEMS的漂移,但系统长时间运行下仍存在MEMS步态识别不准确等问题产生定位误差,需要重启MEMS惯性器件,运行步骤四进行重复修正。

根据实验经验,当BDS单点定位精度误差大于5米,或者单兵导航系统航向与卫星导航航向偏差大于 $10^\circ$ 时(满足式(10)),即认为MEMS失锁,MEMS重新启动,开始进行重复修正。

$$\begin{cases} \text{Positioning\_error} > 5 \text{米} \\ \text{Heading} > 10^\circ \end{cases} \quad (10)$$

### 3.1.3 室外绝对定位算法改进

上面算法的使用有一个假设条件,即单兵的行动轨迹始终处在BDS信号良好的环境,但实际上BDS信号往往受到影响产生定位误差,而误差中既有整体偏移误差,也有随机误差。整体性的一般主要是系统性误差,比如参考坐

标系和实际物理坐标的误差，地图的标点误差之类的，而这种误差在理论上可以通过地面站观测补偿掉的。但是剩下的大部分是随机误差，即使像电离层，对流层时延这种外部误差，一般也由于各个接收机的处理方式、定位用的卫星选择不同而不会完全相同。

针对上述 BDS 数据特性，如果只是利用其中一段轨迹上的 BDS 数据来作为 MEMS 数据的转换基准肯定会有较大的误差，所以我们引进 RANSAC 算子来改进算法，提取出 MEMS 相对坐标向导航坐标转换的最优化参数。（具体 RANSAC 阐释见附件.附录二）

对算法的第四步骤做出以下调整：

**Step1:** 利用匹配好的 GNSS-IMU 数据进行解算：从数据结构矩阵中任意选取 6 个点，带入匹配方程，利用改进后的大角度的三维坐标转换参数求解算法解算参数。

**Step2:**利用求得的匹配矩阵、坐标系相对位置关系，以及通过 MEMS 测得的各个点位坐标，带入匹配方程式（5）反求得到各点对应的导航坐标系绝对坐标  $A_i^0(X_i^0, Y_i^0, Z_i^0)$ 。

**Step3:**利用 BDS 测得的其余各点的导航坐标  $A_i(X_i, Y_i, Z_i)$ ，设定好阈值，当  $A_i^0$  与  $A_i$  间的距离小于阈值时，我们认为这种情况的点满足 Step2 中选择点的转换关系，将该点判断为内点，否则为外点。

但是在真实实验中，利用欧式距离上是否满足距离小于阈值的约束，只能对数据做一个简单的筛选处理，筛选出来的点可能由于实际环境恶劣，大多数处在阈值周围，但这些点明显计算出来的结果精度不高，甚至很差；而且杂点与优质点混杂在一起难以筛选，造成计算效率不高。

考虑到北斗导航绝对定位信息由于本身精度问题，其误差分布具有偶然性，所以通过 IMU 转化而来数据同测得的 BDS 数据之间的差异满足正态分布的要求。这里在欧式距离的基础上引入权值如式（11），依距离远近得到不同的内值，离归算线越近的点值赋予越大的权重，根据内值 D 的大小来判断是否为内点。

$$w(x, y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2+z^2)}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

$$D = w(x, y, z) * |A_i^0(X_i^0, Y_i^0, Z_i^0) - A_i(X_i, Y_i, Z_i)| \quad (12)$$

这样做也可以有效筛选一些边缘点，提高运算速度；充分利用数据，提高计算精度。

**Step4:**遍历所有匹配，共  $C_n^6$  种情况，选择内点数最多的情况作为最优结果。

算法具体流程见图 8：

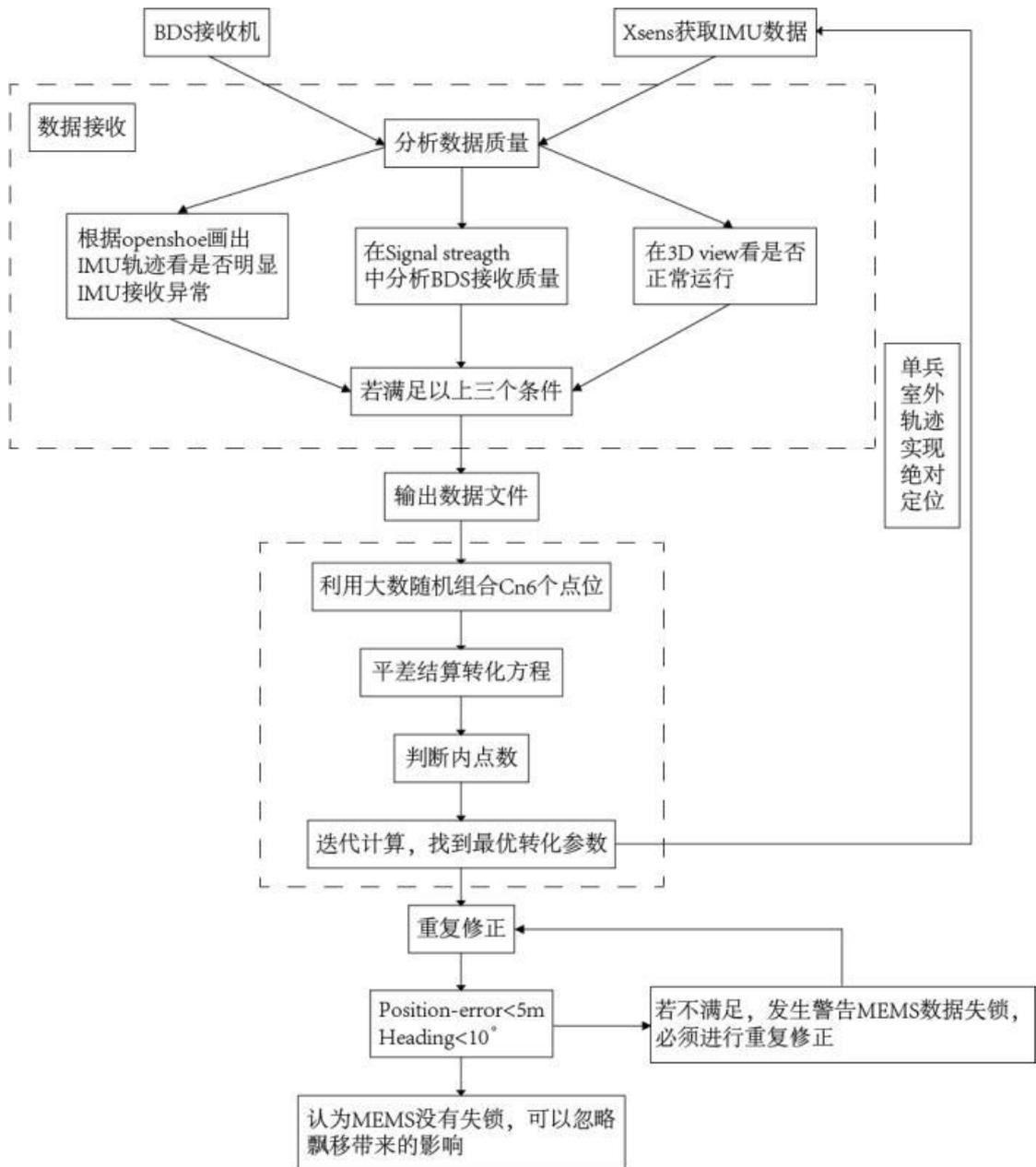


图 3-3 单兵室外绝对定位方案

### 3.2 室内单兵导航绝对定位方案

由于单兵作战任务的要求，室外与室内之间快速切换，我们可以利用此时解算出来的转换参数，将室内的单兵 MEMS 数据转换到导航坐标系，实现单兵全轨迹上的绝对定位，具体方案实现见图 9。

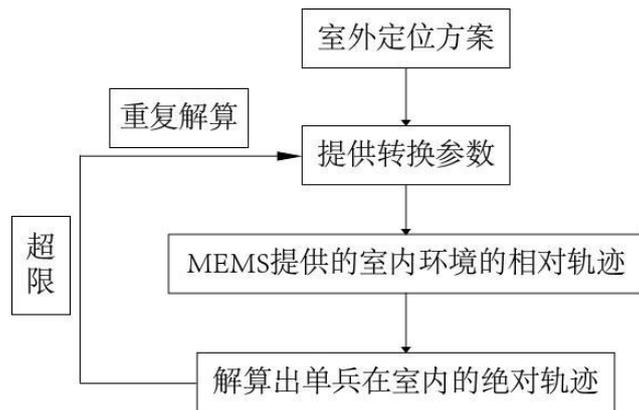


图 3-4 单兵室内绝对定位方案

## 4 实验验证

### 4.1 实验一：验证单兵室外绝对定位方案

#### 4.1.1 实验描述

实验场地为某大学宿舍楼后运动场，实验时间为 5min48s，测试距离为 400m 闭合跑道内环。利用 Xsens 测得 IMU 数据，共计 17439 个；利用 BDS 接收机接收 BDS 数据，整体试验场地信号强度良好；利用 MTI Manager 判断 MEMS 与 BDS 数据有无明显超限，具体装备与使用软件见图 10。

第一轮实验未使用重复修正验证算法；第二轮加入重复修正验证算法。

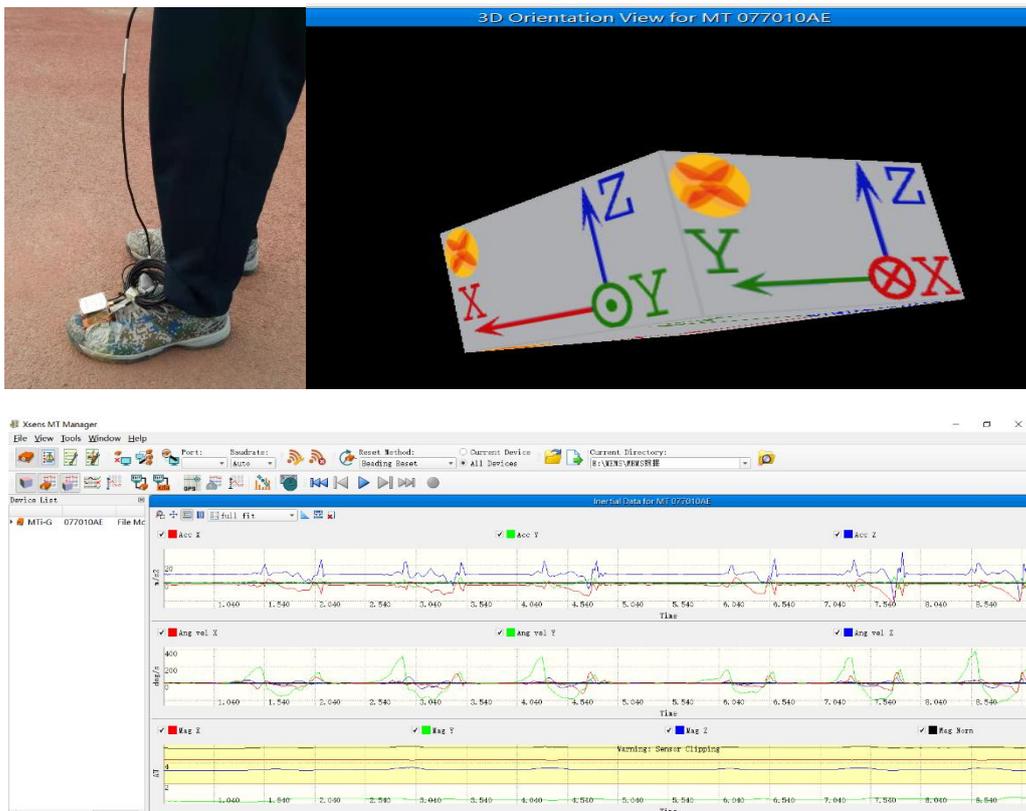


图 4-1 Xsens\BDS\MTI Manager

## 4.1.2 采集数据分析

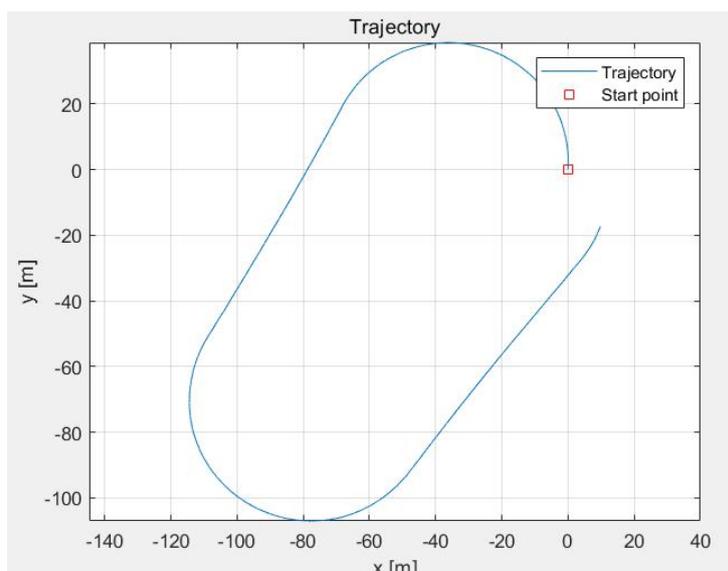


图 4-2 MEMS 数据的相对坐标轨迹

从图 11 中我们可以看出，单独使用 MEMS 于只能得到基于惯导坐标系的相对坐标，对于实际应用不大；而且由于没有外界辅助，随着时间 MEMS 漂移误差逐渐积累，在大约 280s 后误差超过 5m，具体误差随时间变化见下表：

表 4-1 直接采集的惯导误差随时间变化表

时间/s	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
误差/m	2.89	3.285	3.964	4.259	4.959	5.89	6.947	8.071	8.976	9.473	10.27

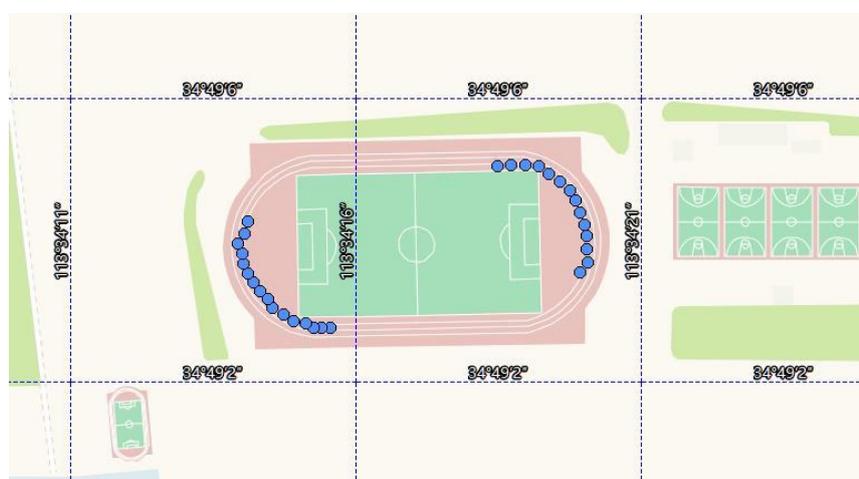


图 4-3 直接采集的 BDS 经纬度信息

这里为了验证单兵在室外的效果，只在跑道的弯道处采集北斗卫星数据，将同时接收 BDS 与 MEMS 数据的点位带入算法中进行转换参数解算。从图 12 中，我们也可以发现单兵导航中使用单点 BDS 得到的运动轨迹同单兵真实运动轨迹有一定偏离。

## 4.1.3 结果分析

未加入重复修正时的输出结果：



图 4-4 单兵 MEMS 系统绝对定位后的轨迹（未加入重复修正）

从图中可以明显看出，单兵的 MEMS 数据经过转换，输出为经纬度信息，可以实时呈现单兵轨迹，但由于没有进行重复修正，转换后的轨迹依旧保留着 MEMS 数据本身的内幅误差。

加入重复修正时的输出结果：



图 4-5 单兵 MEMS 系统绝对定位后的轨迹（加入重复修正）

由于加入了重复修正，在第二次弯道处单兵导航系统航向与卫星导航航向偏差大于 $10^\circ$ 时，重新启动了 MEMS。结果如图 14，经过 RANSAC 算法阈值筛选，定位精度优于行走距离的 1%；而且对比弯道处，MEMS 系统绝对定位后的轨迹要优于单点定位轨迹。

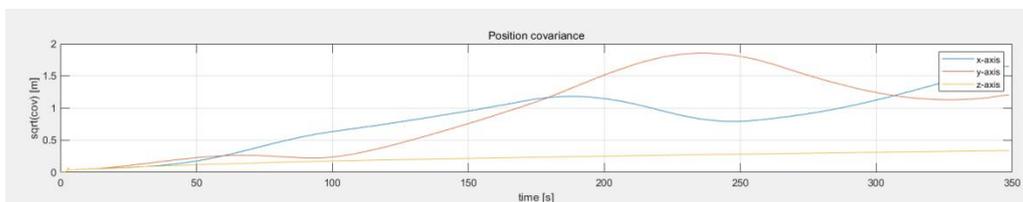


图 4-6 绝对定位后的 MEMS 误差随时间积累曲线

## 4.2 实验二：验证单兵室内外无缝绝对定位方案

### 4.2.1 实验描述

试验场地为某大学家属区，实验时间为 4min21s,实验距离大约 300m,BDS 信号情况在两栋楼之间时数据超限。

### 4.2.2 实验数据及结果分析

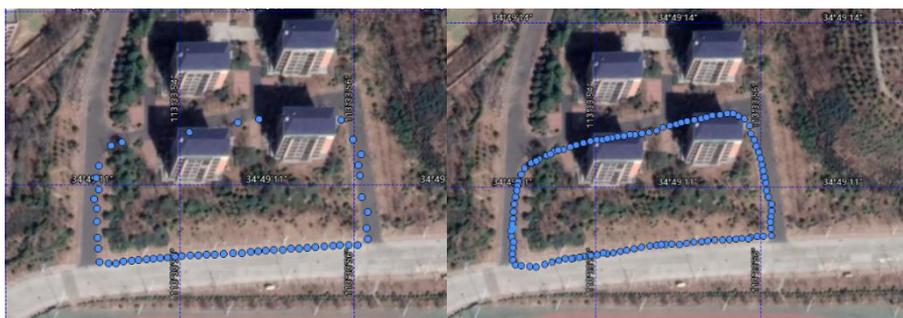


图 4-7 算法为单兵提供室内外无缝衔接的实时绝对位置信息

---

分析轨迹,验证了该算法可以在 BDS 信号缺失的情况下利用室外开阔环境中解算得到的转换参数来归算惯导数据,为单兵提供室内外无缝衔接的实时绝对位置信息。

## 5 总结与展望

### 5.1 实验总结

本文针对单兵 MEMS 自主导航系统中的绝对定位难题,通过北斗导航信息辅助,使用 RANSAC 和最小二乘相结合的方法,将质量较差的卫导数据剥离,既完成 MEMS 的绝对定位,又可以获得比卫导精度更高的行动轨迹。

而且为了适应实际单兵的实际任务需要,在提高算法运算速度方面,处理大角度坐标转换时,采用了加入罗德里格矩阵的改进型布尔莎-沃尔夫模型;在提高算法精度方面,除了利用组合零速检测提高 MEMS 的内部定位精度外,在 RANSAC 内点检测的过程中加入权因子约束阈值,改变传统 RANSAC 中单一约束条件的情况,进一步提高了转换参数的解算精度。

### 5.2 实验展望

在算法方面目前还有以下两点不足:第一由于缺乏高精度点进行配合,没有对于 RANSAC 阈值选择进行优选,在后续实验中将进一步探索阈值选择的方法;第二由于单兵作战任务的要求,室内室外快速切换,所以单独通过一段室外区域的数据不一定能够解得最优转换参数,这就不可避免的需要将数据拼接起来以提高精度,但是由于 IMU 的漂移特性随时间有线性关系,随着时间流逝,不同数据组之间关于修正陀螺仪的参数已经不同,如果此时使用两种数据会造成 IUM 失锁严重,所以之后在实验的基础上选取合适的阈值来连接不同段数据,提高绝对定位精度。

### 参考文献

- [1] 白红美.MEMS 单兵导航系统强跟踪改进算法研究[D].哈尔滨工程大学,2016.
- [2] 贾铮洋.行人室内外无缝定位关键技术研究[D].信息工程大学,2018.
- [3] 宫晓春,吕志平.几种坐标转换计算方法的比较[J].大地测量与地球动力学,2015,35(4).
- [4] 孟祥宾.一种优化的零速检测行人导航算法[J].导航与控制,2016,15(4).
- [5] 潘献飞,穆华,胡小华.单兵自主导航技术发展综述[J].导航定位与授时,2018,5(1).
- [6] 任元.用于行人导航算法评估的足部轨迹仿真研究[J].传感技术学报,2020,33(9).
- [7] 秦洪武,石存节,刘军.基于 MEMS 和 GPS 的驾驶行为和车辆状态监测系统设计[J].传感器与微系统,2012,31(9).
- [8] 姚吉利.罗德里格矩阵在三维坐标转换严密解算中的应用[J].武汉大学学报,2006,31(12).
- [9] 张峻琦.融合 RANSAC 光流跟踪法和特征点匹配法的视觉里程计[J].应用光学,2020,41(6).
- [10] 张卡.三维坐标转换的两种方法及其比较研究[J].数学的实践与认识,2008,38(23).

---

## 基于北斗定位的居民出行结构时空特征疫情影响分析

作者：王辰怡、林霜、杨柯、吴义豪

指导教师：周侗、陶菲

学校：南通大学

---

**【摘要】：**人口流动与居民出行是医学、社会学和地理学领域的重要研究方向，明确居民出行的时空分布规律有助于城市危机管理、灾害应对和疏散规划。通过挖掘疫情防控不同时期居民出行的时空特性，对比分析了疫情各发展阶段居民出行结构的差异，可以评价疫情防控政策的有效性，提高国家安全性和社会管理稳定性，为决策者在疫情常态化管理提供政策制定的参考。本文将城市功能分区引入到出行研究领域，提出居民出行结构的概念，基于北斗定位（BDS）的出租车轨迹数据，实现对出租车上下客点的提取，结合 OD 矩阵分析、核密度估计等地理空间分析方法，分析南通市区疫情前后的出行结构变化。结果表明在疫情期间，购物娱乐、旅游休闲、公务返乡类型的居民流所占的比重均有所降低，就医居民流比重上升，且居民出行处于高度有序组织状态，城市出行热点区域数量和空间分布范围均降至最低水平，说明及时有效的政府干预手段在抑制疫情初期传播，稳定社会秩序中发挥着重要的作用。该研究将为决策者提供有关全球大流行疾病期间如何管控城市间和城市内部人口流动的更多见解，对于应对二轮 COVID-19 浪潮或者其他具有高度传染性的全球流行病具有极其重要的价值。

**【关键词】：**BDS，COVID-19，出租车轨迹，社会功能区，感兴趣点（POI），出行结构

**【Abstract】** Human mobility and travel behavior of residents are important research issues in the fields of medicine, sociology and geography. Exploring spatiotemporal features of travel behavior is beneficial for urban crisis management, disaster response and evacuation planning. This study compares and analyzes the characteristics of travel structure and travel spatiotemporal specialties in different stages during the epidemic, which can evaluate the effectiveness of epidemic prevention and control policies in order to offer a useful reference for helping policy makers improve national security and social management stability in the normalization of epidemic. Based on the taxi trajectory data of BeiDou Navigation Satellite System, combined with the extraction of pick-up and pick-off points in taxi trajectory, this paper establishes OD matrix, kernel density estimation, and other geographic information system spatial analysis methods while introduces urban function zoning into the field of travel research.

The results showed that during the epidemic period, the proportion of human mobility of shopping and entertainment, tourism and leisure, and official return decreased, the proportion of the medical treatment flow increased, and human mobility was in a highly ordered organization. The number and spatial distribution of urban travel hotspots decreased to the lowest level, indicating that timely and effective government intervention plays an important role in inhibiting the early spread of the epidemic and stabilizing social order. This study will provide decision makers with

---

more insights on how to control population mobility between and within cities during the global pandemic, which is of great value for coping with the second round of COVID-19 or other highly infectious global epidemics.

**【 Key words 】** BDS, COVID-19, taxi trajectory, urban functions areas, POI, travel behavior

---

## 引言

新型冠状病毒肺炎（COVID-19）的爆发和蔓延，对全球的公共安全构成了严重威胁。同时，由于其快速、大范围传播的特性也给政府紧急应对重大公共卫生事件的能力带来了极大挑战。疫情过程中采用不同的防控策略会引起截然不同的社会后果，中韩等国的隔离防控虽消耗了大量的社会资源并导致经济增长的停滞，但降低疫情传播的效果，远超欧美的放任政策<sup>[1]</sup>。

我国疫情防控经验表明，隔离政策<sup>[2]</sup>和交通管制<sup>[3,4]</sup>是当前降低疫情扩散的最有效途径之一，并取得了显著的效果<sup>[5]</sup>。但强制限制出行的政策背景下，基于宏观过程的人口流动模式<sup>[6,7]</sup>和微观条件下城市内部居民出行结构<sup>[8]</sup>也发生了改变。能否充分挖掘特殊时期下居民出行结构特征，对疫情的精准防控和应急情况下的公共卫生安全至关重要。

浮动车数据（FCD）广泛应用于居民出行模式分析<sup>[9]</sup>、城市热点区域发现<sup>[10]</sup>、交通状况时空分布<sup>[11]</sup>等领域，通过浮动车轨迹研究居民出行是直接有效的方法。下客点是轨迹数据中一类特殊的信号点，通过出租车载客状态变化提取，目前被广泛应用于寻找城市人流热点<sup>[12]</sup>、揭示城市结构<sup>[13]</sup>和探究土地利用与人流之间的关系<sup>[14]</sup>。

现有基于浮动车的研究主要聚焦轨迹中的下客点<sup>[15]</sup>。本文综合考虑上下客点数据，将城市功能分区引入到出行研究领域，建立基于 OD 矩阵的居民出行结构分类方法。基于北斗定位系统采集出租车轨迹数据，综合运用 GIS 时空分析方法挖掘南通市居民出行规律，分析了疫情影响下居民出行结构的变化和城市居民出行热点区域的变化过程，旨在揭示政府疫情防控政策如何有效地限制了 COVID-19 或任何其他高度传染性疾病的传播，辅助政府部门在公共卫生应急时期对居民出行进行精准调控与管理，从而提高决策部门应急能力。

## 1 数据和方法

### 1.1 研究样区

研究区域为南通市崇川区，位于江苏省中部，长江入海口北岸，地处北纬 31°58'48"，东经 120°53'42"，总面积约 215 平方千米，是南通市委、市政府驻地，如图 1 所示。2020 年南通市常驻人口为 731.8 万，国内生产总值（GDP）达到 10036.3 亿元，首次突破万亿元大关，由于南通市地铁还在修建中，出租车仍是人们主要的出行方式之一。

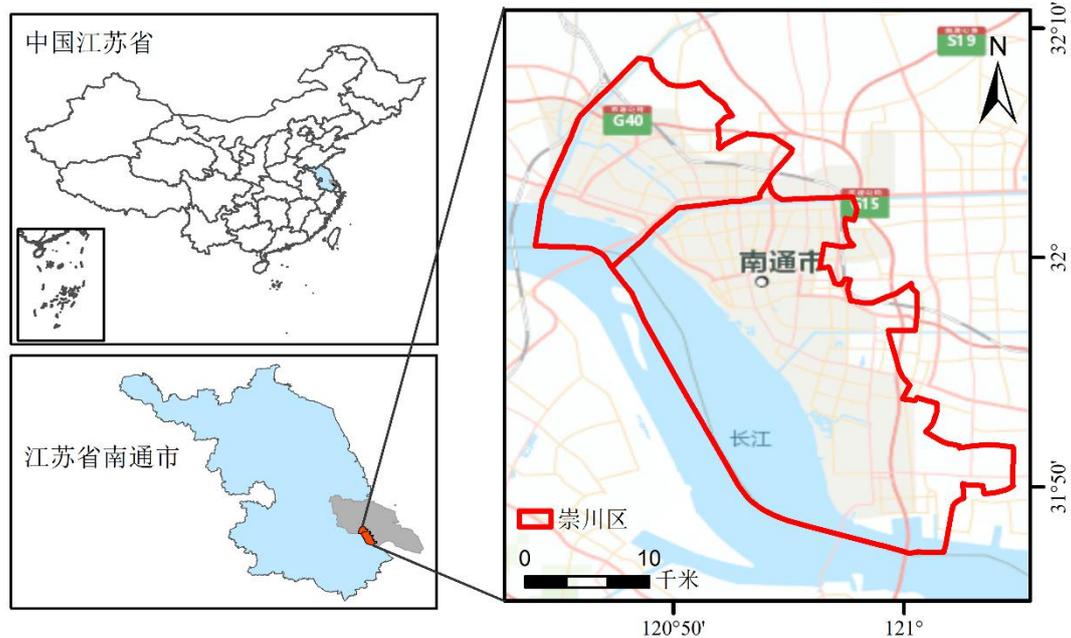


图 1-1 研究样区

## 1.2 数据来源和处理

### 1.2.1 出租车轨迹数据

南通市出租车总数约为 1400 辆，原始轨迹数据记录了出租车的车牌号、呼号、时间、经纬度、速度、方向和载客状态，如表 1。“时间”表示记录轨迹点的时间，“经度和纬度”表示当前轨迹点的地理位置，“速度”表示当前车辆速度，“方向”表示当前车辆的方向，“状态”指示当前车辆的载客状态。实验使用 2019 年 12 月至 2020 年 3 月间约 62892 条出租车轨迹记录。

表 1-1 部分处理后轨迹数据记录

车牌号	呼号	时间	经纬度	速度	方向	状态
苏 FB3592	13646244206	2019 年 12 月 1 日 0:00:00	120.91328, 31.940803	47.7	西南	空车
苏 FB3592	13646244206	2019 年 12 月 1 日 0:00:30	120.91728, 31.934997	22.1	西南	空车
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
苏 FB3592	13646244206	2019 年 12 月 1 日 23:59:00	120.93212, 31.925268	32.3	东南	重车
苏 FB3592	13646244206	2019 年 12 月 1 日 23:59:30	120.93419, 31.928728	31.4	东南	重车

### 1.2.2 遥感影像数据

遥感影像数据用于社会功能区的划分，为研究居民出行结构变化提供了数据基础。该研究样区 2020 年遥感影像数据从谷歌地图上获取，数据包含 RGB 三个波段，分辨率为 0.5m，为保证实验精度，原始遥感影像经过了几何校正、辐射定标、大气校正和去云等预处理。

### 1.2.3 社会功能区数据

本文划分了六种代表生产生活和社交活动的社会功能区类型的矢量图层，分别为学校、居民小区、交通中心、医院、景区、购物中心。在 ArcGIS10.7

中，以影像判读得到的社会功能区边界为基础，结合道路网和河流网为界限创建要素，每种类型的矢量面都用属性字段进行标识，如图 2。



图 1-2 社会功能区

#### 1.2.4 POI 数据

依据社会功能区的划分标准，将感兴趣点（POIs）分为六类，分别为学校、居民点、交通中心、医疗点、景区和购物中心。

#### 1.2.5 出租车上下客点的提取和清洗

通过北斗导航卫星系统（BDS）获得的轨迹数据的空间精度在亚太地区约为 5 至 10m。理论上，信号点  $SP_i$  在行驶过程中每 30 秒获取一次，多个连续的信号点可以反映从  $SP_1$  到  $SP_n$  的车辆轨迹。

本文提取车辆轨迹中的上下客点进行疫情前后城市居民出行结构时空特征分析，设计的采样间隔为 30s。由于乘客乘车状态发生变化的轨迹点也被记录，部分轨迹数据采样点之间的时间间隔少于 30s。本文根据车辆行驶状态提取了上下客点的信息。当车辆行驶状态从空车变成重车时，该点为上客点，反之为下客点。如图 3 所示。



图 1-3 上客点和下客点

在实际情况下，出租车司机在乘客上车后会打开计价器，轨迹中记录的上客点与真实的上客点之间的误差相对较小。但是，在到达目的地之前，某些驾驶员会提前关闭计价器，导致轨迹记录中的下客点与真实下客点之间存在较大的误差。因此，当所记录的车辆轨迹点由重车点变为空车点且两者之间的距离小于 50m 时，本文将该轨迹点标识为下客点，距离计算公式如下所示。

$$dis = R \cdot \arccos [\cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2) + \sin \beta_1 \sin \beta_2] \quad \#(1)$$

其中 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 为重车点和空车点纬度角， $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 为重车点和空车点的经度角， $R$ 为地球半径。

### 1.2.6 建立 OD 矩阵

OD 矩阵指城市一定范围内所有出行起点 (O) 和终点 (D) 之间的出行交通量。依据 OD 矩阵可以得到空间分布特征数据，从而更深层次地揭示新冠疫情流行不同阶段居民出行结构的变化。本文调用 Python 中的 pandas 包、numpy 包、geopandas 包、shapely 包，对出租车轨迹数据中的落入不同类型社会功能区的上客点和下客点进行 OD 标定，对不同类型的 OD 流数量进行统计，建立起新冠疫情不同阶段的 OD 矩阵。考虑到主要研究居民出行结构的时空特征，所以对于落入同一社会功能区的 OD 流量不予统计。分别为购物中心、交通中心、景区、居民小区、学校和医院打上 1 至 6 的标记，所得部分 OD 矩阵如表 2 所示。

表 1-2 社会正常时期 (2019 年 12 月 1 日-2020 年 12 月 28 日) 的 OD 矩阵示例

O \ D	1	2	3	4	5	6
1	—	347	269	4529	620	87
2	355	—	494	10746	1852	376
3	265	371	—	7622	1007	139
4	5191	9142	8696	—	23179	3995
5	813	1457	1163	26683	—	648
6	99	266	199	4126	492	—

### 1.2.7 核密度分析

原理是将 P 点作为圆心，以阈值  $r$  为半径做圆，计算落在圆内的要素出现的总数和圆面积的比值，获得密度，具体公式如下

$$f(x) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad \#(2)$$

式子中 $k()$ 为核函数， $h$ 为带宽， $n$ 为观测数量，利用核密度分析的方法，可以得到南通市崇川区在疫情前后上下客点的密度分布图，获取到上下客点具体分布区域，从而研究疫情前后上下客点聚集区域的空间变化。

## 2 实验结果分析

### 2.1 出行结构时间分布特征

出租车轨迹的上下客点数量一定程度上反映了居民的出行量，能够从宏观到微观展示居民出行量受疫情影响产生的变化。出租车轨迹中的上客点和下客点可以标识乘客订单号，因此上下客点数量代表居民选择出租车出行的数量，同时出租车提供从乘客自定的上车点到目的地间的接送服务，极大程度上降低了居民长时间暴露于公共场合受到感染的风险，在公共交通系统几乎全面停运的疫情期间，通过出租车轨迹获取的居民出行量将更具代表性，为研究居民出行受疫情影响提供了强有力的支持。

#### 2.1.1 出租车月流量分析

为了得到疫情前后全过程中居民出行量变化，筛选 2019 年 12 月至 2020 年 3 月的每月上客点和下客点数据，分析居民出行行为，如图 4。

受疫情影响，从 2019 年 12 月至 2020 年 2 月居民出行量呈持续下降态势，在 2020 年 3 月随着疫情传播风险降低居民出行量有所回升。同时 2020 年 1 月份的居民出行无序度达到最高水平，月中日上下客点最大值和日最小值之间的差值最大，政府在疫情初期制定了及时的疫情防控政策，号召居民居家隔离减少不必要出行。月中日上下客点最大值和日最小值之间的差值在 2020 年 2 月份降至最低，此时期娱乐场所和景区均被关闭，小区实行封闭管理，表明居民此期间的居民出行具有高度的有序性，社会处于高度组织有序状态下。从 2020 年 2 月 4 日起，南通市 23 条公交线路停运，此时出租车轨迹中上下客点数据更能反映居民出行的时空特征。2020 年 3 月上下客点总数的中位数相较于 2 月有明显的升高，月中日上下客点的最大值和日最小值之间的差值逐步恢复正常水平，随着新冠疫情风险性降低居民出行量开始升高，但较社会正常时期相比仍具有一定的差距，表明社会正处于稳步恢复状态中。

居民出行量在疫情期间低于正常时期，但出行规律性极强，社会处于高度有序的组织状态，随着疫情得到基本控制，居民出行感染肺炎的风险不断降低，居民出行量有所回升，出行规律性减弱，表明采取强有力的公共卫生干预手段对处于发展初期的强传染性疾病的防控具有极其重要的意义。

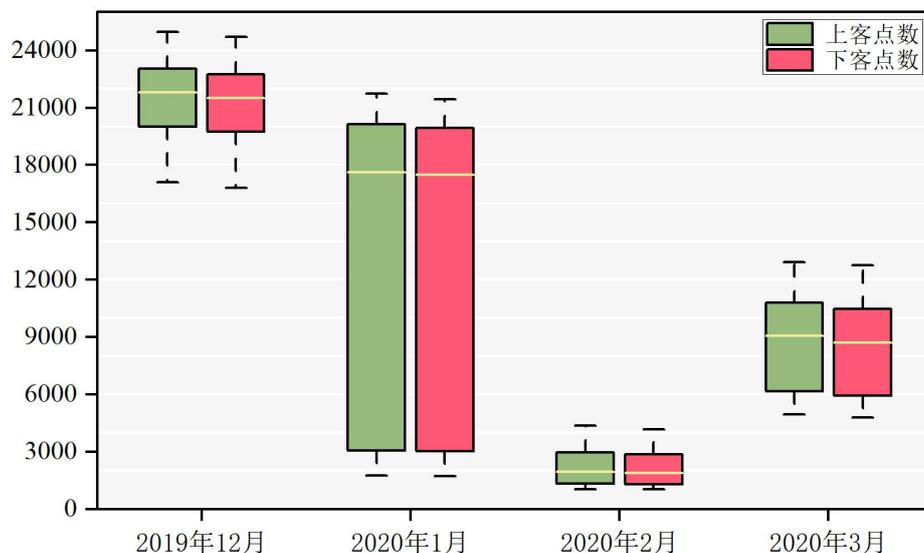


图 2-1 月流量分析

### 2.1.2 出租车日流量分析

出租车轨迹中上下客点的月统计并不能直观地反应居民出行量的日变化。为展示出租车上下客点数所代表居民出行量在疫情防控关键节点可能出现的突变，本文以日为单位统计了2019年12月至2020年3月出租车上客点数目和下客点数目，时间上涵盖了从疫情爆发至社会逐步恢复正常的全过程。

在2019年12月民众对疫情的快速传播和迅猛爆发性认识程度较低，居民出行量出现反复的上下波动，并在2020年1月呈现明显的下降趋势，直到2020年2月人口流动量才有所回升并在3月大幅度回升。

其中2020年2月份为中国的农历新年，应该为出行的高峰时期，尤其是人们选择乘坐出租车的出行量将大量增加。但当政府出台疫情防控政策之后，民众对政策积极响应，主动居家隔离，减少不必要的出行，因此居民出行量不升反降，如图5。

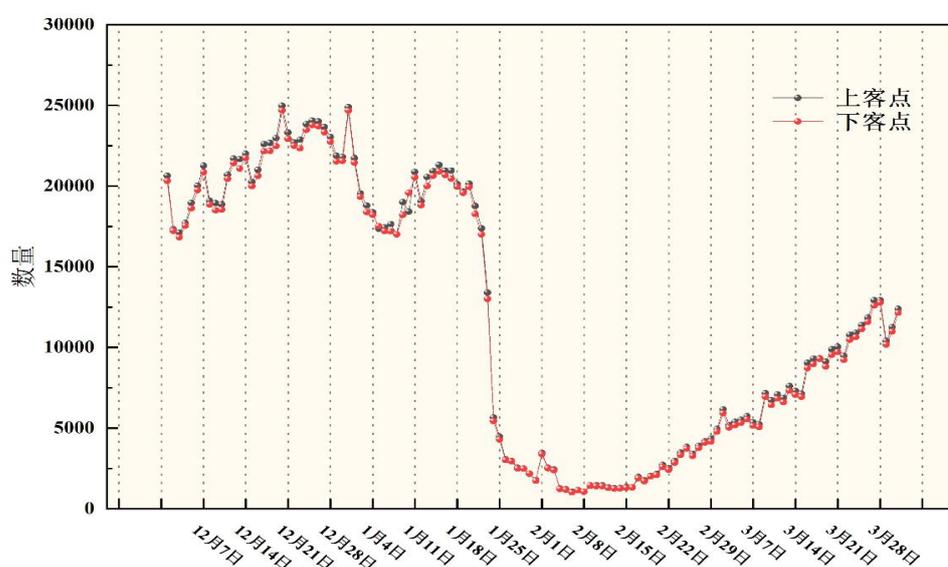


图 2-2 日流量分析

### 2.1.3 重要时间节点的讨论与划分

为更好划分新冠疫情流行的不同阶段，选择了以下重要的参考日期，这些日期发生的事件将对江苏省南通市疫情的传播具有一定的影响，如图6所示：



图 2-3 重大时间节点

本文将新冠疫情爆发前中后阶段的发展划分为五个时期，分别为社会正常时期、疫情出现初期、疫情爆发时期、逐步复工时期和恢复正常时期，如表 3 所示。结合分析图 6 中的重要时间节点和出租车日流量。以湖北省武汉市首次上报不明原因肺炎、南通市确诊首例病例、首批企业与工厂复工以及景区和购物中心等娱乐休闲场所开放等四个节点对时间轴进行合理的划分，能更加科学合理地揭示居民在疫情不同流行时期出行结构的时空变化，为将来可能的公共卫生应急事件提供具有重大参考价值的资料。

表 2-1 重要时间段划分

阶段	日期划分
社会正常时期	2019 年 12 月 1 日—2019 年 12 月 28 日
疫情出现初期	2019 年 12 月 29 日—2020 年 1 月 22 日
疫情爆发时期	2020 年 1 月 23 日—2020 年 2 月 5 日
逐步复工时期	2020 年 2 月 6 日—2020 年 2 月 29 日
恢复正常时期	2020 年 3 月 1 日—2020 年 3 月 31 日

## 2.2 出行结构空间分布特征

利用研究样区中上下客点的密度衡量区域的活力程度，并以此为依据研究城市活力区域在疫情影响下空间分布和活力值变化。传统的出租车轨迹分析，或一般的探测车和浮动车轨迹分析，更侧重于路网行程时间和平均速度的估计。本研究则通过使用出租车轨迹数据中上客点和下客点进行核密度分析，得出研究样区中居民活动的热点区域。公共交通系统在疫情影响下处于停运状态，特殊时期城市内居民出行大多为短途出行，选择出租车出行的概率增大且风险较低，因此利用出租车上下客点进行核密度分析所得到的热点区域更具代表性。出租车轨迹中的上客点和下客点均落在城市人口活动密集区域的影响范围内，因此可以识别城市人口活动密集区域。

### 2.2.1 核密度分析

分别利用社会正常时期、疫情出现初期、疫情爆发时期、逐步复工时期和恢复正常时期的上客点和下客点进行核密度分析，比较城市热点区域的空间分布和变化。

出租车轨迹中的上客点落于居民日常活动范围内，能够直观反应城市居民出行热点区域。疫情初期至爆发严重时期，上客点密度较正常时期显著降低且空间分布范围急剧缩小，位于主城区中商业中心、历史文化区域附近的上客点密度显著降低，表明在疫情期间居民出行量显著降低，并且均积极响应号召居家隔离，减少不必要出行，如图 7 中的 (b) 和 (c)。复工阶段的居民出行量仍维持较低水平，热点区域由城市中心开始向外扩展，主要集中于主城区内的居民小区附近。同时居民出行热点区域在社会稳步恢复阶段由城市中心居民小区逐步向外扩张，如图 7 中的 (d)。居民出行热点区域在社会稳步恢复阶段逐步增多，且其范围有主城区外围的居民小区开始向外扩张，范围不断扩大，但上客点密度和空间分布范围仍和社会正常时期有一定的差距，说明社会各项生产活动逐步开始正常运转，但仍处于恢复阶段，如图 7 中 (e) 所示。

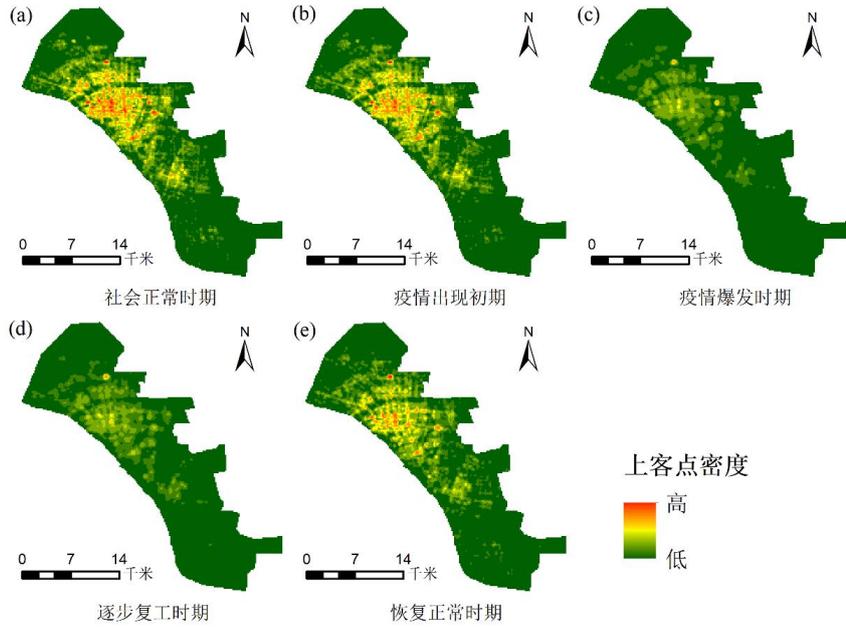


图 2-4 疫情不同阶段上客点空间分布的核密度

出租车轨迹中的下客点具有居民出行目的的属性，能够准确地标识城市热点区域，其核密度分析结果在疫情不同阶段的空间分布和密度值高低的变化趋势与上客点核密度分析结果相同，如图 8。说明初期的疫情防控政策对遏制疫情进一步扩大化传播起到了重要作用，城市中热点区域的空间分布变化和居民出行行为变化，为政府应对将来紧急公共卫生事件提供了决策依据。

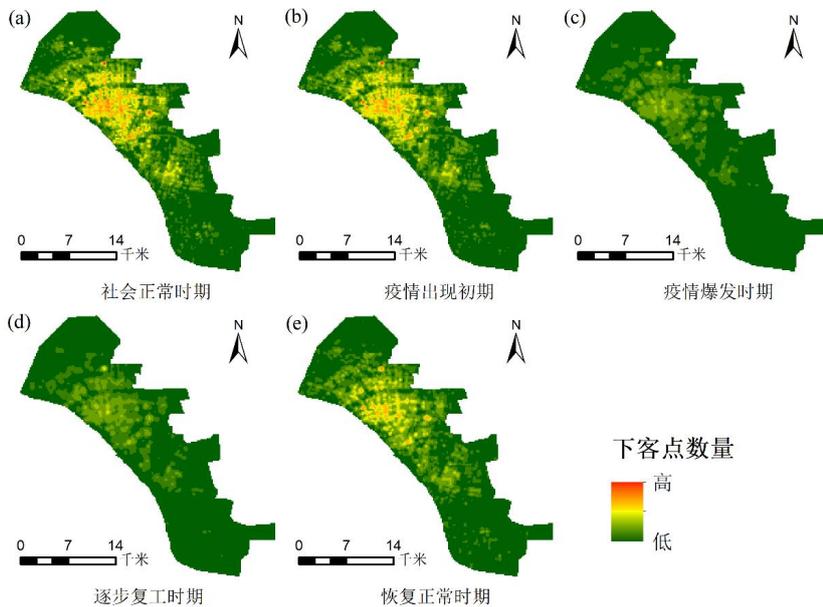


图 2-5 疫情不同阶段下客点空间分布的核密度

### 2.2.2 结合 POI 的空间分析

本文对单位格网中的出租车上客点和下客点数量进行了统计，探讨疫情不同时期城市中出行热点区域和 POI 的空间分布关系。在疫情爆发期间，格网数量减少，其空间分布从郊区往主城区聚拢，表明疫情期间居民出行量降低，且主要活动范围聚集在主城区中。研究样区中购物中心，学校在主城区集中分布，

交通中心在主城区外围均匀分布，景区和医院在整个研究样区上分散分布，居民小区在主城区分布密集，但郊区较少。

格网中红色的深浅，表示不同时期各类型 POI 周围上客点密集程度，得到疫情期间 POI 周围上客点密集程度的变化。受疫情影响，交通中心周围上客点密集程度显著降低，医院周围的上客点密度在其他 POI 中处于较高水平，景区和购物中心周围的上客点密度较低。由于学校和居民小区在空间上位置相对临近，所以学校周围的上客点密度也处于较高水平，如图 9。

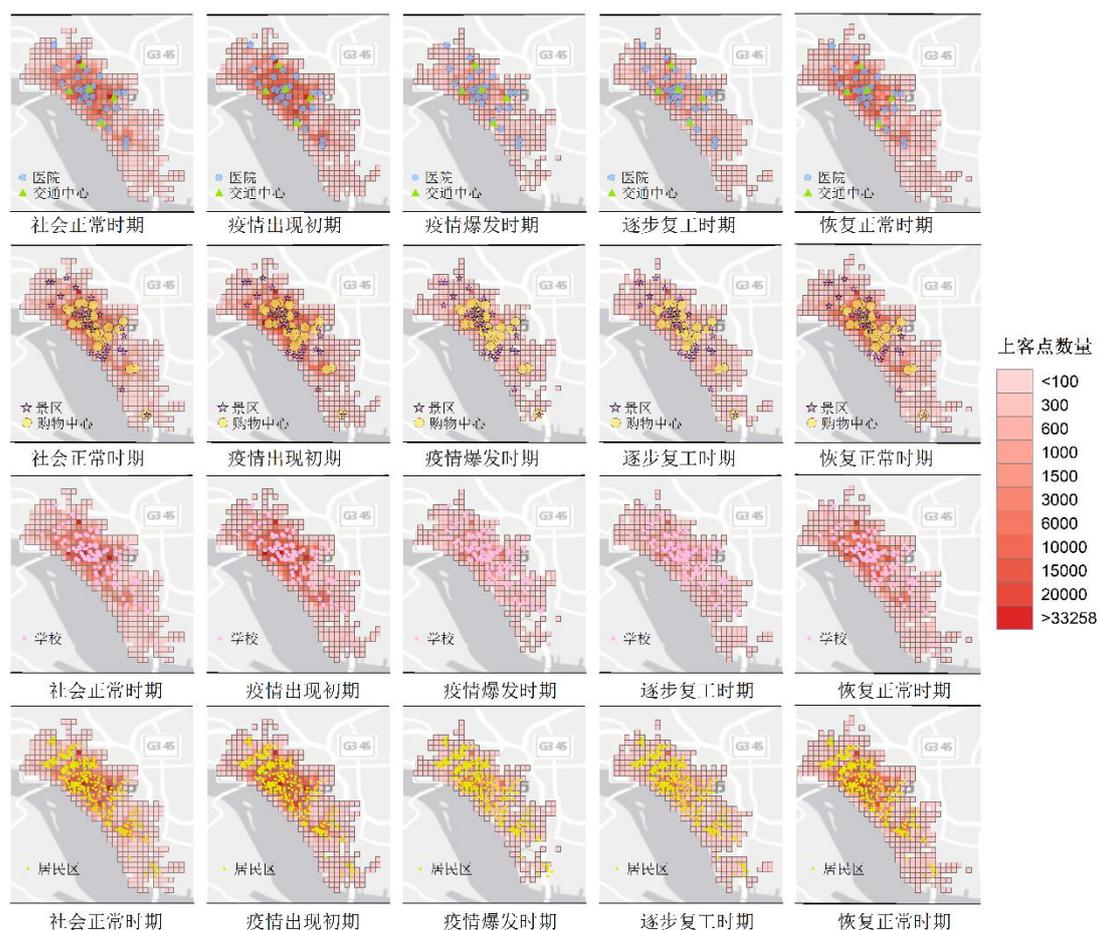


图 2-6 不同时期各类型 POI 周围上客点密集程度

统计疫情不同阶段图各类型 POI 周围下客点密集程度，得到疫情期间 POI 周围下客点密集程度的变化。在疫情爆发期间，交通中心，景区和购物中心周围下客点密集程度处于较低水平，下客点密集区主要分布在医院，学校和居民小区周围，如图 10。

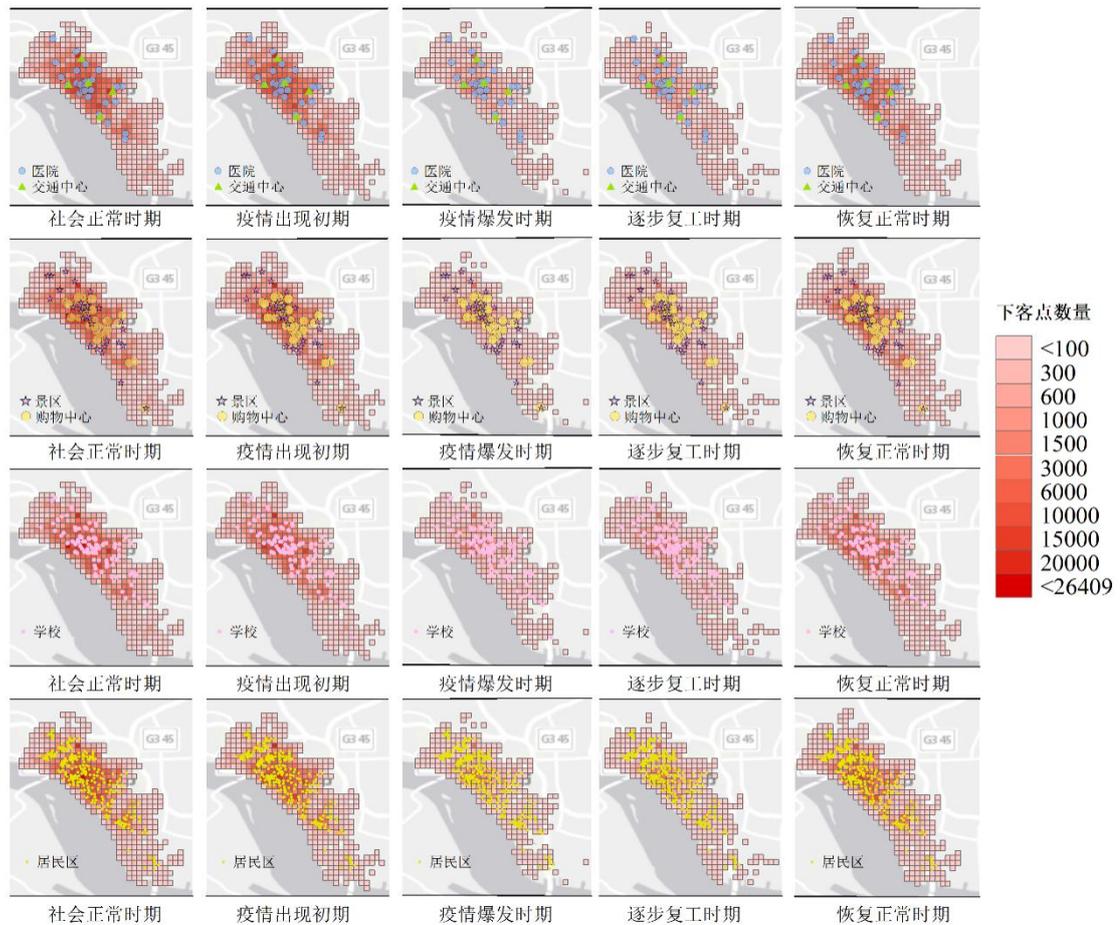


图 2-7 不同时期各类型 POI 周围下客点密集程度

综上，社会正常时期上下客点密集区域主要分布在主城区，相同分布模式一直延续到疫情爆发时期，表明紧急时期居民出行范围缩小，且城市出行热点区域主要集中在主城区附近。且疫情期间医院、学校和居民小区周围的居民出行密集程度较高，其余 POI 周围居民出行密度均处于较低水平，可初步表明疫情期间居民出行结构的变化。

### 2.3 出行结构特征

基于 OD 矩阵建立出行流的分类体系，能够更好地展示疫情不同阶段居民出行结构的变化，从而解释不同时期居民的出行需求和移动模式。为以后重大社会公共卫生应急事件中政府制定出行管控相关政策提供参考。

#### 2.3.1 OD 流分类方法

通过 OD 矩阵分析，将居民出行划分为通勤出行和弹性出行，其中弹性出行又可以分为普通弹性出行与随机弹性出行。

通勤出行一般是由于上下班、上下学活动引起的，此类出行具有显著的规律性，主要体现在出行行为发生的地点聚集在空间上相近的范围内，同时出行行为发生的时间也具有极强的规律性。本文用上下学代表通勤出行，弹性出行一般是由购物、娱乐等活动引起的，在时间和空间上具有不确定性。普通弹性出行在空间上具有一定的规律性，但在时间上具有随机性，例如购物出行人们会选择几个相对较为固定的购物中心。随机弹性出行行为在时间和空间上都

毫无规律可循，例如从景区到医院的 OD 流，本文基于 OD 矩阵对居民出行行为的划分如下表 4 所示。

表 2-2 居民出行行为划分

D \ O	学校	居民小区	购物中心	交通中心	医院	景区
学校		通勤出行	随机弹性出行	随机弹性出行	随机弹性出行	随机弹性出行
居民小区	通勤出行		购物娱乐	公务返乡	就医	旅游休闲
购物中心	随机弹性出行	回程		随机弹性出行	随机弹性出行	随机弹性出行
交通中心	随机弹性出行	回程	随机弹性出行		随机弹性出行	随机弹性出行
医院	随机弹性出行	回程	随机弹性出行	随机弹性出行		随机弹性出行
景区	随机弹性出行	回程	随机弹性出行	随机弹性出行	随机弹性出行	

### 2.3.2 出行结构变化分析

依据出租车轨迹中上下客点所属社会功能区的变化，按照居民出行目的将 OD 流划分为通勤出行，购物娱乐、就医、公务返乡、回程和空间时间毫无规律性的随机弹性出行。参照上文所述标准对 OD 流进行时间划分，共分社会正常时期、疫情出现初期、疫情爆发时期、逐步复工时期和恢复正常时期等五个阶段。分别统计疫情不同阶段各类居民出行 OD 流（图 11）及其占比变化（表 5），以研究居民出行结构受疫情影响产生的变化。

社会正常时期，通勤出行、回程和公务出行在居民出行总量中所占比重较高，受疫情影响，公务返乡流所占比重降低，前往客运站和火车站的人流有所下降，城市内部中长途与城市间人口流动量降低。此时各城市响应疫情防控政策基本处于封城状态，在疫情得到初步控制且逐步复工阶段，政府为防止疫情反弹，严控城市间和城市内部的人口流动，公务返乡流所占比重在逐步复工期间降至最低，在逐步恢复正常时期公务返乡人流量稳步回升，如图 11。严控人口流动在阻断疫情传播，对防止复工期间疫情的二轮爆发起到了至关重要的作用。

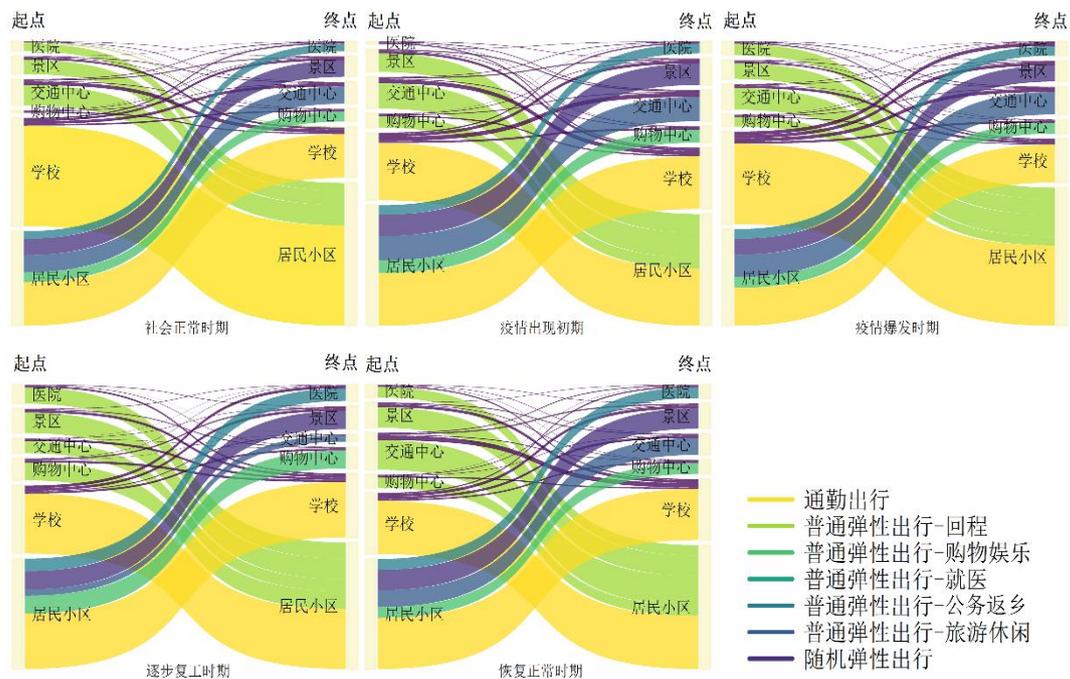


图 2-8 OD 流量

社会正常时期至疫情出行初期，通勤出行流所占比重降低，其余出行流所占比重均增高，其中购物娱乐，公务返乡和旅游休闲的占比在武汉传出疫情后均有升高，因为此阶段位于年末春节前夕，居民空闲时间增多且社会对新冠病毒的巨大危险性认知程度普遍较低。随机弹性出行所占比重升高，证明此时期居民出行无序度较高。

从疫情出现初期到疫情爆发时期，仅有通勤出行和就医所占比重升高，其余出行流所占比重均降低，尤其购物娱乐和旅游休闲所占比重下降最为明显，说明疫情爆发时期，居民积极响应政府号召，减少不必要出行，仅保留维持社会正常运转和满足自身生存基本需求的出行行为。同时公务返乡流所占比重降低，说明出市人口大幅度减少，民众积极响应政府控制疫情的号召留守过年，城市间的人口流动性降低。此时随机弹性出行降至最低，说明社会处于高度有序的组织状态，各个城市基本处于封闭管制状态中。

购物娱乐流和旅游休闲流所占比重均在逐步复工时期升高，紧接着在恢复正常时期降低，表明外出风险降低后，居民具有极强的精神娱乐消费诉求。公务返乡流和随机弹性出行流所占比重均在逐步复工时期降至最低，表明虽然外出风险系数降低，社会仍处于高度有序的组织状态，出市人口降至最低。

就医出行在疫情出现初期、爆发时期和恢复正常时期所占比重升高，揭示了社会公共卫生应急状态下居民的基本生存需求。

各种目的的出行流在恢复正常时期基本处于均衡状态，公务返乡流所占比重较复工时期急剧升高，说明政府的人口流动管控手段放松，城市间人口流动开始恢复。

综上所述，疫情影响下居民出行结构的变化，说明居民首要的需求为生理需求和安全需求，社会只有满足居民的这两种基本需求后才能够在任何应急时刻正常运转，同时表明政府对居民的出行管控对疫情防控起到了至关重要的作用，本文分析揭示了及时有效的出行管控政策与疫情发展态势之间的关系，为

以后应对重大社会公共卫生事件的政府政策及其成效的预测提供了极其有意义的参考。

表 2-3 居民出行结构占比变化

阶段	出行目的 通勤 出行	弹性出行					
		普通弹性出行					随机弹性出行
		购物 娱乐	就医	公务 返乡	旅游 休闲	回程	
社会正常时期	43.8	4.6	3.5	8.0	7.6	23.7	8.8
疫情出现初期	40.9	4.7	3.6	9.0	7.9	24.0	9.9
疫情爆发时期	45.7	4.2	3.7	8.6	6.2	22.4	9.2
逐步复工时期	44.6	6.9	4.8	2.4	7.1	25.7	8.4
恢复正常时期	40.5	4.2	3.6	6.5	7.9	27.5	9.7

### 3 总结

本文基于北斗定位系统收集疫情爆发前后（2019年12月-2020年3月）南通市出租车轨迹数据，并融合遥感影像、社会感知等多源数据，从时间、空间两个角度分析了疫情对居民出行结构和城市居民出行热点区域造成的影响。综合运用多种空间分析方法，得到以下结论：（1）在整个疫情期间，居民出行量降至历史最低水平，居民出行热点区域的上下客点密度也同比社会正常时期有显著下降。（2）在疫情严重时期，南通市主城区上下客点密度仍高于城市其他区域，与城市中居民居住分布模式有关。（3）按 POI 类型进行划分进行规律总结发现，医院、居民小区和学校周围的上下客点密度远高于其他类型 POI，疫情期间居民的出行目的以通勤为主。而以娱乐购物和休闲旅游为目的的出行相较于社会正常时期有大幅下降，并且在疫情时期的出行总量中占比最低，表明在疫情管控期间，居民积极响应政府的隔离防疫政策，减少了不必要出行和长途出行。

在后疫情时期，本研究可通过进一步丰富数据源，如手机信令数据、公交 GPS 数据和公共交通 IC 刷卡数据来提高实验的精度和分析的准确度，为新冠疫情的防控体系提供全新的评价指标。同时，实验也将通过扩大研究样区进一步探讨大尺度范围下疫情前后人口流动模式的变迁规律，为应急情况下的公共卫生防控提供科学参考。

---

## 参考文献

- [1] 钱雪松, 丁海, 郑德昌. 新冠肺炎疫情、国际社会早期防控举措和效应评估——基于外防和内控视角的经验研究[J]. 财经研究, 2021, 47(03): 4–18.
- [2] 李伟, 郑宝珠. 论传染病密切接触者隔离规则的适用与完善——以新冠肺炎疫情防控为例[J]. 中国卫生法制, 2021, 29(02): 46–52.
- [3] 江飞涛, 蔡卫星. 新冠肺炎疫情防控中城市交通管制效果的经验评估[J]. 2020(04): 59–74.
- [4] 顾天奇, 庄楚天, 李晋等. 交通管制在新型冠状病毒传播中的作用——基于人口迁徙数据的传染病动力学模型及预测[J]. 2020, 29(04): 55–62. .
- [5] 谢驰, 陈志斌, 郑太秀等. 防止新冠疫情扩散的城市交通系统与出行活动管控策略[J]. 交通运输工程图与信息学报, 2021, 19(01): 1–16.
- [6] 向云波, 王圣云. 新冠肺炎疫情扩散与人口流动的空间关系及对中国城市公共卫生分类治理启示[J]. 热带地理, 2020, 40(03): 408–421.
- [7] 李钢, 王皎贝, 徐婷婷等. 中国 COVID-19 疫情时空演化与综合防控[J]. 地理学报, 2020, 75(11): 2475–2489.
- [8] 杨冕, 谢泽宇. 新冠肺炎疫情防控对中国人口流动的影响——基于百度地图迁徙大数据的实证研究[J]. 人口研究, 2020, 44(04): 74–88.
- [9] LI Y, ZUO X, YANG F. Research on Urban Resident Activity Patterns and Hotspot Area based on GPS Floating Car Data[J]. IEEE Access, 2020, 8: 2694–2707.
- [10] ZHENG L, XIA D, ZHAO X et al. Spatial-temporal travel pattern mining using massive taxi trajectory data[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2018, 501: 24–41.
- [11] ZHONG R X, LUO J C, CAI H X et al. Forecasting journey time distribution with consideration to abnormal traffic conditions[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 85: 292–311.
- [12] CHEN C, JIAO S, ZHANG S et al. TripImputor: Real-Time imputing taxi trip purpose leveraging multi-sourced urban data[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(10): 3292–3304.
- [13] LIU X, GONG L, GONG Y et al. Revealing travel patterns and city structure with taxi trip data[J]. Journal of Transport Geography, 2015, 43: 78–90.
- [14] YANG Z, FRANZ M L, ZHU S et al. Analysis of Washington, DC taxi demand using GPS and land-use data[J]. Journal of Transport Geography, 2018, 66(October 2017): 35–44.
- [15] HWANG R H, HSUEH Y L, CHEN Y T. An effective taxi recommender system based on a spatio-temporal factor analysis model[J]. Information Sciences, 2015, 314: 28–40.

---

## 基于北斗导航系统的极端天气无人驾驶改进方案

作者：张国琛、王波、张旭、张世龙

指导教师：于沛、付亚坤

学校：中国消防救援学院

---

**【摘要】**：森林是一种重要自然资源，与我们的关系极为密切，它不仅能提供各种木材和经济植物，同时也是许多动物食物的来源。但是,近几年我国森林火灾频繁发生，不但烧毁成片的森林，还造成森林繁殖能力大幅度降低，土壤贫瘠，破坏森林涵养水源的能力，影响范围内生态环境的平衡，甚至会造成人员伤亡，给国家带来严重的财产损失。因此研究一套实用的林火及烟雾识别监控系统可实现森林火灾“打早、打小、打了”方针原则，使火灾消除在萌芽状态，对林火预测及发生地点进行精确掌握，有效减少森林资源的损失。

本方案应用“北斗+智能气象站”技术，主要通过深度学习图像识别技术来实现目标地点范围内的林火及烟雾识别，在火灾发生后能够第一时间将信息传达给防火指挥部，以便进行快速的应急处置。整套系统在北斗卫星导航系统的基础上，在系统前端设置高清摄像头，利用树莓派将 BMP180 气压传感器、DHT22 温湿度传感器、RS-FXJT-N01 风力风向传感器、MH-RD 雨水收集传感器等进行数据采集，用户可在管理系统上观测到前端设备采集的实时画面及数据，这些数据可用于森林火灾的灾前预测。该系统实现了森林火灾监测的智能化，具有应用地域广、地形影响小以及识别准确度高等特点，能够极大提高林火监测的可靠度。

**【关键词】**：北斗卫星导航系统，智能气象站，森林火灾监测

**【Abstract】** Forests are an important natural resource, closely related to us. They not only provide a variety of wood and economic plants, but also a source of many foods. However, in recent years, forest fires occur frequently in China, which not only burn down large tracts of forests, but also greatly reduce the reproductive capacity of forests, impoverish the soil, destroy the ability of forests to conserve water, affect the ecological environment balance within the scope, and even cause casualties, and bring serious property losses to the country. Therefore, the study of a set of practical forest fire prediction system can realize the principle of forest fire "hit early, hit small, hit late", so that the fire can be eliminated in the bud, the forest fire prediction and the location of the precise grasp, effectively reduce the loss of forest resources.

This program applies the technology of "Beidou + Smart Weather Station" to realize the identification of forest fire and smoke within the target location mainly through deep learning image recognition technology. After the fire occurs, the information can be transmitted to the fire prevention headquarters in the first time, so as to facilitate rapid emergency treatment. The system on the basis of the beidou satellite navigation system, the system front-end setup hd camera, the use of raspberry collection BMP180 pressure sensor, DHT22 temperature and humidity sensor, the RS - FXJT - N01 wind direction sensor, MH - RD rainwater collection sensors for data acquisition, the user can be observed on the management system of real-time images and data of the front-end equipment acquisition before the data can be used for forest

---

fire disaster prediction. The system realizes the intelligence of forest fire monitoring, has the characteristics of wide application area, small terrain influence and high identification accuracy, and can greatly improve the reliability of forest fire monitoring.

**【Key words】** Beidou navigation satellite, Intelligent weather station, Forest fire monitoring

---

## 1 研究背景

### 1.1 火灾案例

近几年国内外森林火灾频繁发生,对生态环境造成巨大危害的同时对人类的财产与人身安全均产生极大威胁。全世界平均每年发生森林火灾 20 多万次,烧毁森林面积约占全世界森林总面积的 1% 以上。1997 年夏季被称为“世纪灾难”的印度尼西亚的森林大火烧了几个月,因未及时发现森林火灾造成山火蔓延,烧毁森林 30 多万公顷,直接经济损失达 1250 万美元,印尼本国受害者多达 2000 万。这场大火的烟雾造成大范围的呼吸道疾病,患者多达 5 万人以上。2019 年 7 月 8 日起在 2020 年 2 月中旬,澳大利亚大火连续燃烧了近 7 个月的时间,发生火灾的区域面积约为 18.6 万平方千米,共计超过 5900 个建筑被烧毁,造成至少 34 人遇难。受到影响的动物约为 10 亿只,一些濒危物种甚至面临灭绝风险。2020 年 4 月 13 日,乌克兰切尔诺贝利核电站禁区的森林大火。因为没有及时发现并紧急处理森林火灾。导致火势无法控制,火舌入侵了充满核辐射残留的切尔诺贝利禁区,乌克兰再次面临着核辐射的威胁。

而我国平均每年发生森林火灾约 1 万多次,烧毁森林几十万至上百万公顷,约占全国森林面积的 5~8%。1987 年 5 月 6 日,黑龙江漠河境内发生森林火灾,过火面积 133 万公顷,造成五万余人流离失所,直接经济损失五亿多元人民币,间接损失 800 多亿元人民币。2019 年 3 月 29 日 13 时 30 分许,山西省长治市沁源县突发一起森林火情,火灾过火面积 360 公顷,3800 余名群众、职工已撤离,无人员伤亡。2019 年 3 月 30 日,四川省凉山州木里县发生森林火灾,造成森林资源的严重损失以及 27 名森林消防指战员和 4 名地方干部群众牺牲。2020 年 3 月 30 日,四川省凉山州发生森林火灾。过火面积 1000 公顷左右,毁坏面积初步估算 80 公顷左右。大火造成 19 人不幸遇难,包括 18 名凉山州宁南县打火队队员,1 名当地向导。

每一个触目惊心数字的背后都代表着一个个鲜活的生命。所以,森林火灾的有效监测可以极大地降低森林火灾所造成的损失,使火灾在初发阶段就能被监测到并迅速采取处理措施。面对严峻的森林防火形势,如何对森林火灾进行有效地预防和预测,成为亟待解决的问题。特别是由于森林火灾具有快速对流传传播并具有较强的燃烧期,森林火灾的早期发现被认为是减少森林火灾损失的最有效手段。

### 1.2 研究意义

中国幅员辽阔,由于各地自然条件不同,加之植物种类繁多,森林植物和森林类型极为丰富多样,我国森林资源的分布极不均匀,全国森林面积 19545.22 万公顷,活立木总蓄积 149.13 亿立方米,森林蓄积 137.21 亿立方米,森林覆盖率就达到了 20.36%。森林资源的保护是一个世界性的课题,已经得

---

到了全世界的广泛重视，森林火灾的防治更是重中之重。森林火灾的预防重要性远大于扑救，本方案提出了一种基于北斗卫星导航系统的智能可移动气象站系统，该系统可实时监测移动气象站周围环境画面，基于深度学习实现林火检测和识别。一方面，提高识别森林火灾的准确率，另一方面，还能收集到目标地点的温湿度、风力、风向、气压、降水量等详细信息，通过数据来预测火灾发生的可能性，并为火灾发生后处置林火选择应急预案提供了方便。

## 2 研究现状

经过几代人的不断努力，利用卫星来实现森林火灾的监测已广泛应用于世界各地，美国、澳大利亚、法国等一些发达国家研究开发了基于本国国情利用卫星来实现对森林火灾进行监测的系统。在 2019 年澳大利亚山火发生以后，澳大利亚就研究出了一套比较成熟的以 GPS 为基础的林火监测系统——NASA WorldView。该工具使用卫星图像，大约每隔几个小时获取一次，数据的准确度可以涵盖火灾热点的 2 公里的范围，这对于人们了解火灾发生的位置十分有用。

我国的森林火灾的监测水平还相对比较薄弱，我国林火的监控预报始于 20 世纪 50 年代，主要还是基于国外火灾预警的基础上进行改进。近几十年来，我国在森林火灾预测预报方面取得了一定的成就，许多省都建立了森林火灾预测预报系统，为建立全国火灾危险等级预报系统奠定了一定的基础。在国内，很多学者对卫星、图像识别技术和智能气象站在应急救援或日常生活方面的研究。

崔峻航提出借助电子监控技术实施林区资源调配及防火方面定位捕捉，并且把视频图像和环境数据上传至控制中心。且无线传送子模块则会把前端摄像系统所捕捉到的有关数据即时传送至控制中心，保证火情可以在第一时间得到传输。

刘亭提出了利用单片机和 ARM 技术设计并实现了一套能够实时记录保存并能够通过网络实时传输的便携式气象站。可同时采集温度、湿度、风力、风向等数据，具有便携性、操作简单、交互界面友好、可本机单独工作也可组网工作、数据安全性好等优点，能够满足各项试验任务对气象条件的数据的要求。

古亚明提出了利用卫星技术应用于森林火灾监测系统，一些发达国家利用新的传感技术和通信技术已经开发出了较为先进的森林火灾监测系统。这是将 GPS 和 GIS 相结合监测森林火灾。基于空间信息（包括森林植被图和遥感数据）等数据库信息，也进一步发展了森林防火监测技术。

戴航等人分析了嵌入式开发的森林消防系统的设计与实现。通过无人机的移动无线图像传输林火识别信息，在森林中设立 MCU 基站监测环境数据，使用 Zigbee 组网多跳的方式将环境数据传输至 PC 端。且建立森林消防系统的客户端与服务器，具有良好的人机交互界面。

总体来说，我国利用卫星定位系统和前端监控技术与智能气象站结合应用于应急救援方面已经有了一定的研究，但还不够成熟，须待进一步开发应用。

### 3 系统与硬件设计

#### 3.1 系统设计方案

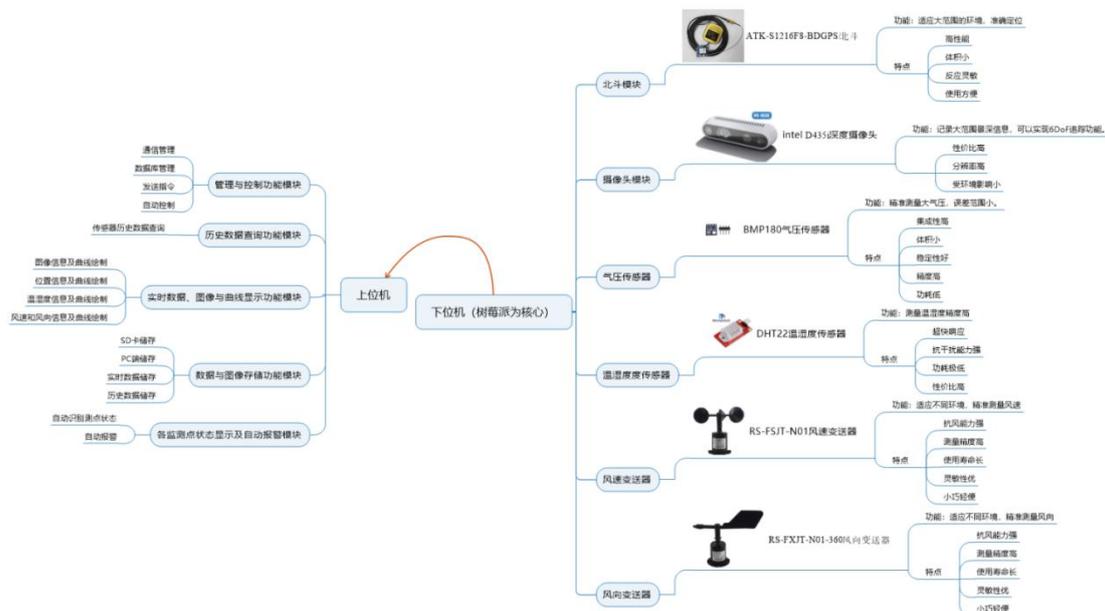


图 3-1 基于北斗的林火及烟雾监控系统结构图

系统整体结构框架分为上位机和下位机两部分组成。下位机以树莓派为核心，使用树莓派来连接各个传感器，构成前端数据采集的完整设备，包括北斗模块、摄像头模块、气压传感器、温湿度传感器、风速变送器、风向变送器等传感器。下位机实时监控目标地点范围内的林火及烟雾，采用基于 yolo 深度学习算法实时进行林火及烟雾检测；下位机与上位机之间采用 wifi/5G 进行无线通信，将数据传送给上位机监控软件。

上位机监控软件具有以下功能模块：

(1) 管理与控制功能模块：管理模块主要进行通信与数据库管理，控制模块实现上位机发送指令自动控制摄像头云台的转动。

(2) 实时数据、图像与曲线显示功能模块：基于云平台配套软件和可视化 GUI 界面，实时显示监控目标地点范围内的摄像头采集的图像信息、位置信息、温湿度信息、风速和风向信息并进行曲线绘制；

(3) 数据与图像存储功能模块：将各传感器数据存入数据库中，用于日后的查询和分析；

(4) 历史数据查询功能模块：可实现对传感器历史数据的按时间、传感器类型等不同维度的组合查询；

(5) 各监测点状态显示及自动报警模块：基于北斗模块提供的位置信息，将下位机各个模块安放至各个目标监测点，各监测点显示经度及纬度信息。当各监测点数据处于正常阈值范围内，且图像识别模块未检测到林火和烟雾时，状态显示为绿。如各监测点分辨出目标地点发生森林火灾的情况，状态显示为红灯闪烁并触发声光报警器，系统会在第一时间自动报警至相关部门。

#### 3.2 硬件设计

##### 3.2.1 主控器

采用树莓派 3 (B+型) 作为本课题下位机的硬件主板，树莓派具有体积小，功能强大的优点。它是一款基于 ARM 的微型电脑主板，系统基于 Linux 系统，

以 Micro-SD 卡为储存元件，树莓派上配有 4 个 USB 接口和一个以太网接口，可拓展连接外部设备如显示器、鼠标、音响等，同时支持 wifi 进行数据传输，如图 3 所示为树莓派的实物图。北斗双模定位模块获得北斗和 GPS 数据，风速及风向变送器获得风速与风向数据解码后通过串口发送给树莓派，同时深度摄像头、气压传感器、温湿度传感器将采集到的数据发送给树莓派，树莓派将数据经过预判和转换后通过 wifi/5G 无线传输的方式发送给 PC 端的上位机监控软件。

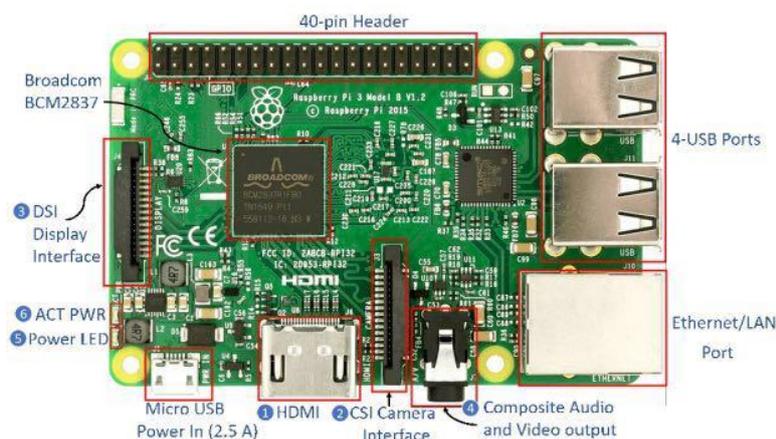


图 3-2 基于北斗的林火及烟雾识别监控系统主控器

### 3.2.2 林火及烟雾识别监控系统传感器

#### (1) RealSense D435i 实物图



图 3-3 RealSense D435i 实物图

将 RealSense D435i 摄像头通过 USB 方式连接至树莓派，该摄像头不仅提供深度传感器模组，还配备了一个 IMU 单元（采用的博世 BMI055）。因惯性测量单元中将各种线性加速度计和陀螺仪数据结合，可检测 X, Y, Z 三轴的旋转和平移，以及俯仰、横摇等动作，结合这些视觉数据可实现 6 个自由度的追踪功能。摄像头内置英特尔 RealSense 视觉处理器 D4，在户内和户外任何有光的环境下都能够使用，能够提供复杂的实时景深计算，通过立体的视觉感知周围环境。如下图所示为将摄像头采集图像的测试图：

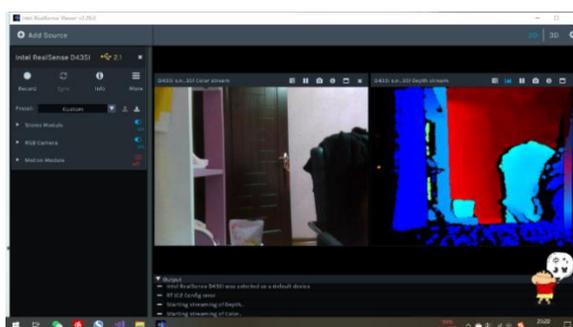


图 3-4 可视化界面图

## (2) DHT22 数字温湿度传感器

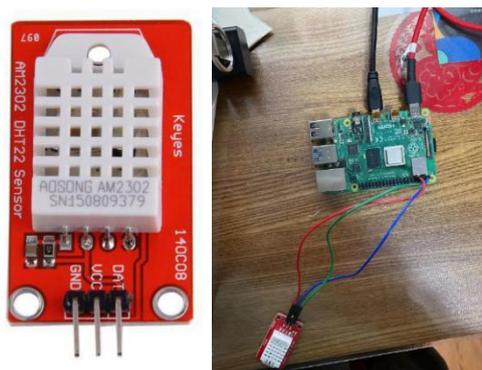


图 3-5 DHT22 传感器实物图与树莓派连接传感器实物图

本课题选择 DHT22 作为项目的主要温湿度传感器。如图所示将树莓派与 DHT22 传感器的连接实物图，采用杜邦线将传感器的 VCC、GND 和 DOUT 三个引脚分别连接至树莓派的各引脚。该温湿度传感器模块具有响应速度快、抗干扰能力强、稳定性高等优点；相对于常见的 DHT11 模块，该模块的精度更高，性能更佳。使用该传感器模块可减轻后期的数据处理工作，也能够使得可视化效果更佳平滑，易于展示。

## (3) BMP180 传感器

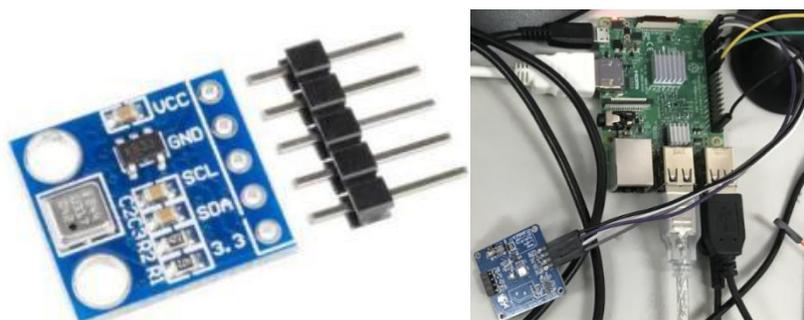


图 3-6 BMP180 传感器实物图与树莓派连接传感器实物图

本课题选择 BMP180 作为项目的主要气压传感器。BMP180 高精度温湿度气压传感器是一款气象数据多合一传感器模块，接口类型为 I2C,可对多种类型的气象数据进行采集.该传感器被广泛用于解决复杂气象数据采集与农业资源监测，决策支持和土地监测相关的农业问题。同时 BMP180 是一款高精度的湿度传感器，湿度分辨率可达 0.008%RH，可以作为 DHT22 的冗余传感器使用。通过以上参数，认为该模块灵敏度高，稳定性好，检测范围广，可以满足森林环境下大多数的实验条件，可以使用。

## (4) RS-FSJT-N01 风速传感器和 RS-FXJT-N01-360 风向传感器



图 3-7 RS-FSJT-N01 风速传感器和 RS-FXJT-N01-360 风向传感器实物图

考虑到监控系统会处于比较恶劣的天气环境下，所以选择的风速传感器和风向传感器要具有使用寿命长、抗风能力强、测量精度高、灵敏性优等特点。综合考虑后，选择 RS-FSJT-N01 风速变送器和 RS-FXJT-N01-360 风向变送器。这两款变送器的外形小巧轻便，便于携带和组装，壳体采用聚碳酸酯复合材料，具有良好的防腐、防侵蚀等特点。风速传感器的三杯设计理念可以有效获得风速信息，长期使用无锈蚀现象；风向传感器因为其独特的材质保证户外长期工作而形状不变。风速变送器和风向变送器采用了足够光滑的轴承系统，从而使采集到的数据的精准性有了保证。该型号的风速、风向变送器在许多场合均可使用，如：畜牧业、气象站、交通业等等。

### 3.2.3 北斗双模定位模块

北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System, BDS）是我国根据国家安全和经济社会发展需要，建立在无线电定位系统上的高精度空间定位和导航系统。其定位原理为：

$$\begin{cases} [(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2]^{1/2} + c(V_{t1} - V_{t0}) = d_1 \\ [(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2]^{1/2} + c(V_{t2} - V_{t0}) = d_2 \\ [(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2]^{1/2} + c(V_{t3} - V_{t0}) = d_3 \\ [(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2]^{1/2} + c(V_{t4} - V_{t0}) = d_4 \end{cases}$$

本项目选用 ATK-S1216F8-BD GPS/北斗双模定位模块进行林火监测中各布点的精确定位。ATK-S1216 模块精度高、定位速度快，与树莓派连接时采用串口通讯。如图 9 所示为该模块与树莓派系统的连接关系图，其中 VCC 和 GND 用于给模块供电，模块 TXD 和 RXD 则连接单片机的 RXD 和 TXD。



图 3-8 ATK-S1216F8-BD GPS/北斗模块与树莓派的连接实物图

### 3.2.4 声光报警器模块



图 3-9 声光报警器模块

选用派特莱（WE-502FB 型）声光报警器作为连接上位机的声光报警硬件模块，如各监测点检测到森林火情或烟雾时，上位机监控软件收到异常状态发生时，触发声光报警器，报警器发出灯光闪烁及音量 90 分贝的蜂鸣声。

## 4 软件设计

### 4.1 软件设计方案

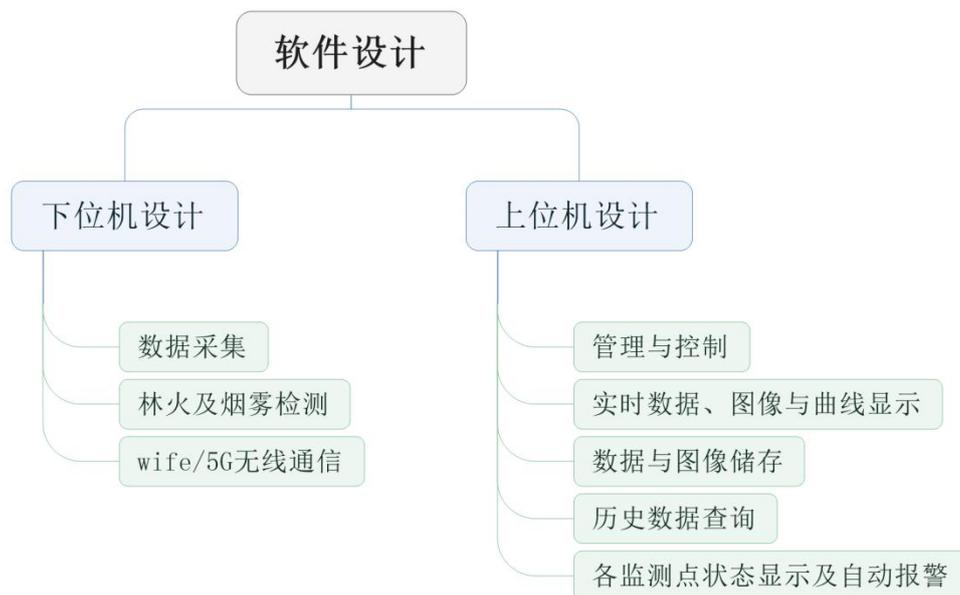


图 4-1 软件功能结构图

基于北斗定位的林火及烟雾识别监控系统的软件组成如图所示，划分为两个部分：下位机软件部分与上位机软件部分。其中下位机软件主要完成：采集温湿度、风力、风向、地理位置、影像资料等各类数据，除数据采集功能外实现林火及烟雾的识别功能，同时通过 wifi/5G 将数据发送至上位机。上位机软件则是完成：管理与控制、实时数据、图像与曲线显示、数据与图像存储、历史数据查询、识别目标地点发生森林火灾的情况及自动报警。

### 4.2 下位机软件设计

下位机模块采用 DHT22 数字温湿度传感器模块、BMP180 传感器模块、RS-FSJT-N01 风速传感器模块、RS-FXJT-N01-360 风向传感器模块、RealSense D435i 深度摄像头模块、ATK-S1216F8-BD GPS/北斗模块模块、wifi/5G 无线网络模块、电池模块、林火及烟雾检测模块，将数据传送给上位机监控软件。基于树莓派的软件结构图如下图所示。

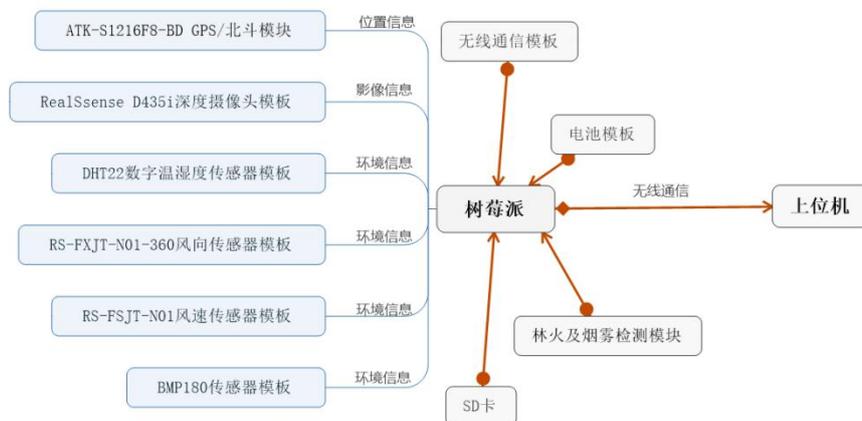


图 4-2 下位机软件设计结构图

树莓派接收到多种传感器模板传输的数据后通过无线网络模块上传至上位机。

#### 4.2.1 各传感器数据采集模块

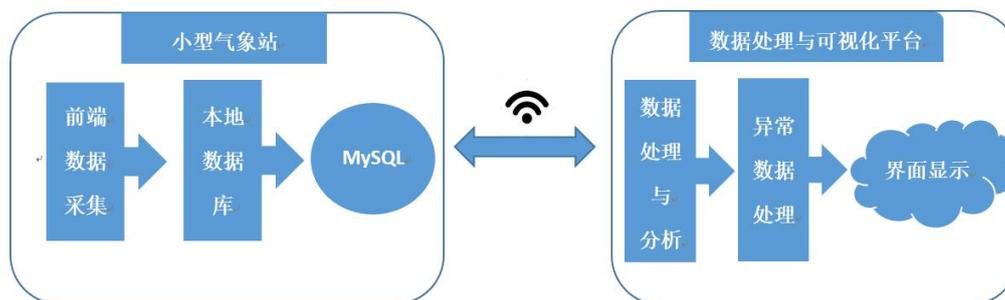


图 4-3 传感器数据采集模块结构图

前端数据采集主要通过树莓派搭建的小型气象站平台来完成，其中包括气温、气压、海拔、湿度、风速、风向类的气象数据，在完成以上数据的采集后，将数据保存至数据库，方便后期分析，通过 wifi/5G 无线传输，完成上位机与小型气象站本地数据库的连接。

#### 4.2.2 林火及烟雾识别模块

林火与烟雾识别视频监控系统的流程如下图所示：

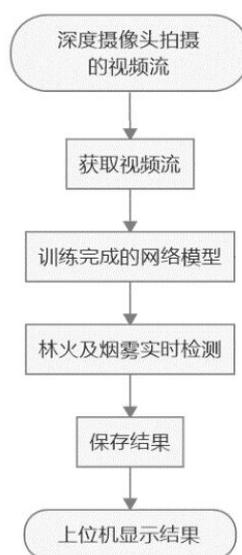


图 4-4 林火识别视频监控系统流程

为了获得对林火和烟雾的训练模型，分别进行了数据集的制作和模型训练两部分工作。

##### 1、制作数据集

###### (1) 数据集预处理

由于没有公开的林火检测的数据集，本文所采用的数据集来源于互联网和手机拍摄，有夜晚和白天等多种情况，拍摄场景多样化。为了增加数据集的泛化性，对搜集样本进行旋转变换、对称变换、对比度变化、噪声变换等，既增加了数据样本有利于深层卷积的学习，又增加了模型的鲁棒性，减少发生过拟合的可能，最终获得 634 张数据样本图。

## (2) 图片标注

本文设计火、烟 2 个类别的目标检测，采用开源软件 Labelimg，通过手工的方式在每个样本图像上标记待检测目标的位置和类别如图 2 所示。Labelimg 以 xml 文件的形式记录下待检测目标标记外围框的左上角坐标 (x,y)、右下角坐标 (x,y) 及所属类别。

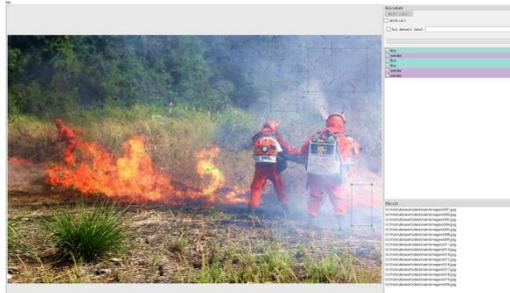


图 4-5 使用 labelimg 进行林火检测图像标注

## (3) 数据集的处理

数据集的处理主要分为两步。第一步需要将对应图标的 xml 文件转换成满足 YOLO v5 格式要求的 txt 文件，其中 txt 文件中的数据格式为 obj-class, x\_center、y\_center、width、height，分别对应类名编号、标注中心框相对图片的宽度、高度以及标注框相对于图片的宽和高。第二步是将经预处理后的 634 张图片组成的数据集按照如下公式所示划分为训练集、测试集和验证集，其中

$N_{train}$  为训练集个数， $N_{valid}$  为验证集个数， $N_{test}$  为测试集个数：

$$\frac{(N_{train} + N_{valid})}{N_{train} + N_{valid} + N_{test}} = 0.9$$
$$\frac{N_{train}}{N_{train} + N_{valid}} = 0.9$$

将训练集、测试集、验证集转换成 YOLO v5 的格式所要求的 txt 文件存储于 train.txt、test.txt 和 valid.txt 中。至此完成数据集收集、预处理和数据集分类的前期准备工作。

## 2、硬件平台及模型训练

本文实验的环境配置如表 1 所示：

表 4-1 实验环境配置

GPU	NVIDIA Geforce GTX 1080 8G
操作系统	Win10 64bit
软件环境	Python 3.8 CUDA 11.0 Pytouch 1.7.1

由图 2 官网给出的四种网络在 COCO 数据集的测试表现上看，Yolov5s 网络最小，速度最快，但是其所对应的精度也最低，Yolov5x 的精度最高，但其速度的消耗也是最高的，本文选取 Yolov5l 网络结构进行训练，因其在处理速度和精度上处于中间水平，是一个平和了速度快且模型准确的模型。设置每次送入网格学习的图片张数为 10 张，训练终点为 300 步，使用 train.py 进行模型训练，在训练过程中，经过卷积、池化、反向传播等步骤，最终生成权重文件 best.pt。训练共计时长 10.545 小时。

### 4.3 上位机软件设计

#### 4.3.1 管理与控制功能模块

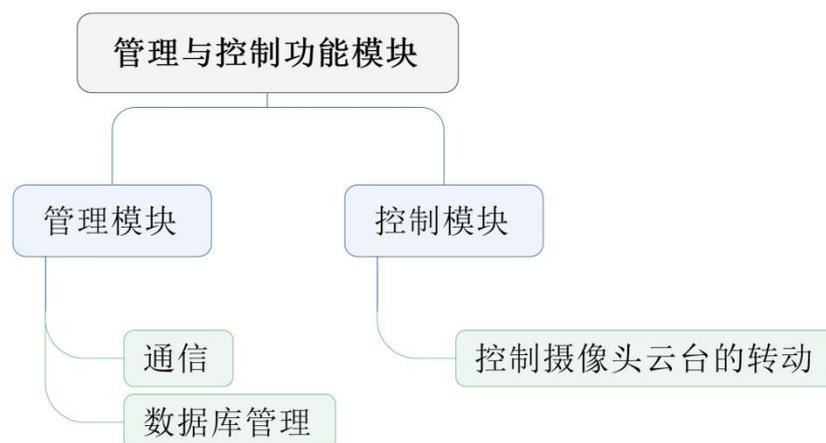


图 4-6 管理与控制功能模块结构图

管理模块主要进行通信与数据库管理，控制模块实现上位机发送指令自动控制摄像头云台的转动。

#### 4.3.2 传感器数据、图像与曲线显示与存储模块

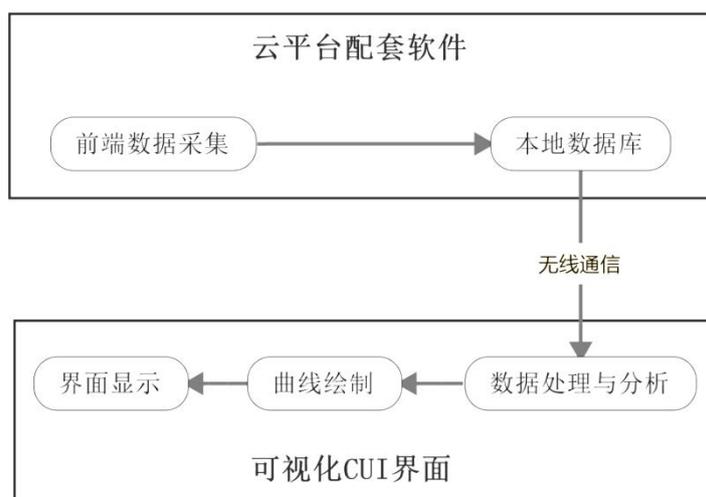


图 4-7 传感器数据、图像与曲线显示与存储模块结构图

在可视化 GUI 界面中，利用相关 GUI 开发软件（本文使用的 PyQt 软件）进行可视化界面的研究与设计工作，并在开发成功的界面中进行数据可视化展示，方便用户对其进行趋势预测和数据比对。

### 4.3.3 历史数据查询功能模块

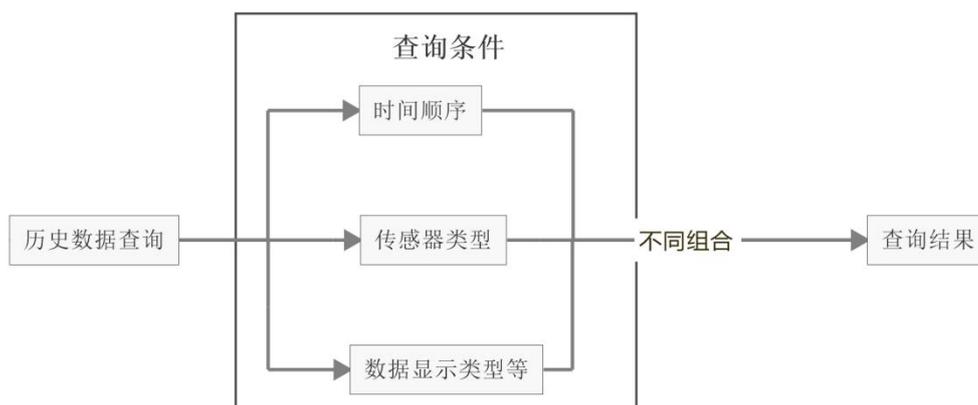


图 4-8 历史数据查询功能模块结构图

用户在历史数据查询界面可实现对传感器历史数据的按时间、传感器类型、数据显示类型等不同维度的组合查询，方便使用者自由组合，更加便捷查询历史数据。

### 4.3.4 各监测点状态显示及自动报警模块

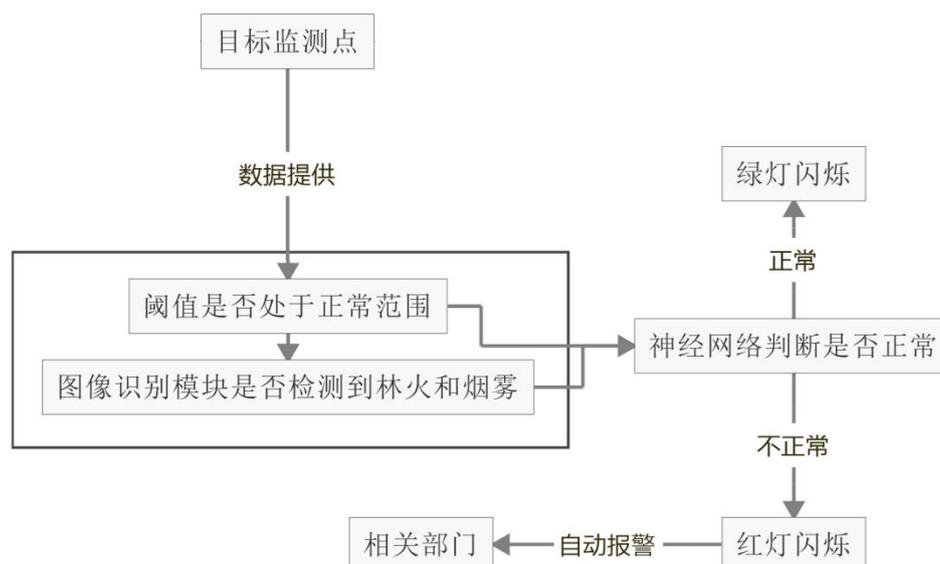


图 4-9 监测点状态显示及自动报警模块流程图

基于北斗模块提供的位置信息，将下位机各个模块安放至各个目标监测点，各监测点显示经度及纬度信息。当各监测点数据处于正常阈值范围内，且图像识别模块未检测到林火和烟雾时，状态显示为绿。如各监测点分辨出目标地点发生森林火灾的情况，状态显示为红灯闪烁并触发声光报警器，系统会在第一时间自动报警至相关部门。调用百度地图提供的 API 接口可实现。

## 5 系统测试

### 5.1 双目摄像头的使用与读取

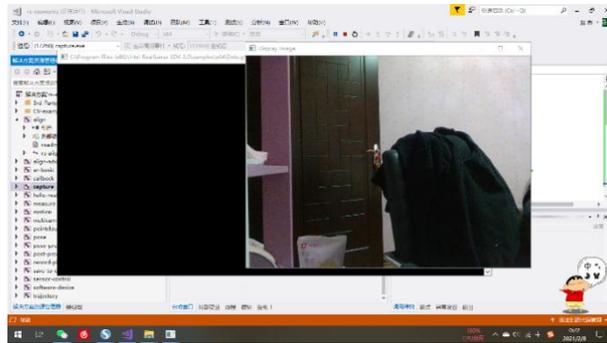


图 5-1 打开双目摄像头的结果

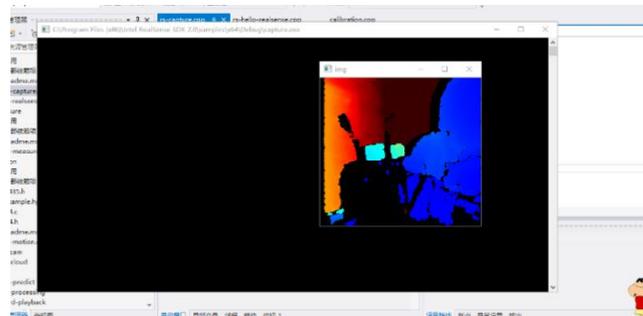


图 5-2 读取摄像头图像的结果

### 5.2 基于深度学习的林火烟雾检测结果



(a)原始图像



(b)处理和标记后图像



(a)原始图像



(b)处理和标记后图像

图 5-3 林火烟雾检测

如图 21 (a) 及图 22 (a) 所示是要检测的原始图像, 图 21 (b) 及图 22 (b) 是经过 YOLO V5 网络处理后和标记后的输出图像, 可以看出, 该林火识别视频监控系统对林火和烟雾具有良好的检测效果, 并且具有较高的鲁棒性。

### 5.3 基于北斗定位的各监测点状态显示



图 5-4 基于北斗定位的各监测点状态显示  
 点击着火地址解析按钮即可查询到着火地点的具体地址：



图 5-5 基于北斗定位的各监测点详细地址解析

### 5.4 传感器数据读取与显示



图 5-6 传感器数据读取

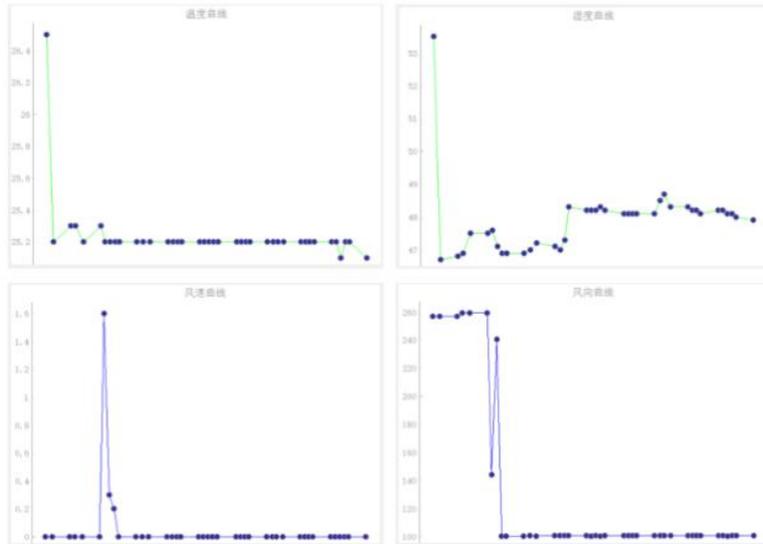


图 5-7 传感器数据曲线显示

## 6 总结

### 6.1 创新点

中国地理版图十分广大，嵌入式监测技术在各个领域越来越广泛，本文章就是利用北斗卫星导航系统在树莓派基础上与多种传感器实现互通形成前端实施监测系统，建立“北斗卫星+智能气象站”检测的方案，拓展了北斗卫星的多项优点，能够更加全面及时的对国家森林草原资源地域进行实时的监测，该系统利用北斗技术，嵌入式技术以及人工智能技术，实现了森林火灾监测的智能化，具有应用地域广、地形影响小、识别准确度高等特点，能够极大提高林火监测的可靠度。

### 6.2 应用前景

未来的研究中，将在已有设备和相关实验结果的基础上，继续完善“北斗+智能气象站”系统，结合现阶段实验研究，对本设计进行展望：

(1) 进一步提高系统使用稳定性和识别精度，降低误警率，使系统可以适用于更多的应急救援领域。

(2) 下步研究中，将自主开发研究出专业性更强的传感器，避免目前存在的不可靠性，使得系统整体更加完备，更加适用于多个领域。

(3) 在之后的研究中，本设计除了可以采集到温度、湿度、气压、风速、风向、地理位置、视频影像资料外，还可采集到其他的数据，如：紫外线强度、降雨量等等，使得系统的应用更广。

(4) 通过计算摄像头旋转角度、倾斜度以及焦距的大小，定位具体的火灾位置。

---

## 参考文献

- [1] 崔竣航. 电子监控技术在林区资源调配及防火中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2020(18):139-140.
- [2] 刘亭, 李日永. 基于 ARM 的便携式气象站设计与实现[J]. 传感器世界, 2009, 15(01):39-42.
- [3] 古亚明. 森林防火技术及其发展趋势分析[J]. 现代园艺, 2020(04):186-187.
- [4] 李佳奇, 李学斌, 赵义松. 输电线路智能微气象站在线监测仪的设计[J]. 东北电力技术, 2015, 36(09):1-3+7.
- [5] 戴航, 胡芬巧. 基于嵌入式开发的森林消防系统的设计与实现[J]. 电子世界, 2020(15):112-113.
- [6] 李喆, 刘浩宇, 余佐超. 北斗系统在输电线路防灾监测中的应用探索[J]. 四川电力技术, 2020, 43(06):71-74.
- [7] 阮宏梁, 卜晓斌, 鲍秋杰, 李凌宇. 北斗定位智能共享物流箱系统设计[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(09):76-78.
- [8] 杨明潇. 基于深度学习的林火烟雾识别[D]. 北京林业大学, 2019.
- [9] 达瓦品初. 可见光林火智能监测与决策支持系统的设计与应用[J]. 现代园艺, 2020, 43(22):220-221.
- [10] 王永泽, 李毅, 杨广群, 韩宁. 林火报警图像中火源点确定方法研究[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(01):50-55.
- [11] 李鹏, 孔令华. 森林防火技术研究进展与建议[J]. 山东林业科技, 2020, 50(05):85-90.
- [12] 徐晓峰, 张皓琳, 孙志超. 天地一体化森林防火监测体系建设[J]. 林业资源管理, 2019(05):121-129.
- [13] 胡鑫, 程玉柱, 吴祎, 韩嘉伟, 张浩然, 刘军. 长短期记忆网络的林火图像分割方法[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(01):103-107.
- [14] 杨帆. 嵌入式系统在智能便携式自动气象站中的研究与应用[D]. 南京航空航天大学, 2012.

---

## 基于北斗的交通通行优化系统

作者：束文鹏、余晶晶、赵易、胡智勇

指导教师：王晓华、江超

学校：上海电力大

---

**【摘要】** 随着城市化进程的加快，城市对于交通通行的需求不断增加，交通问题已然成为城市经济和社会发展中的一项重大问题，它所带来的多方面问题使得交通拥堵成为制约城市现代化发展的“瓶颈”。如何减轻和避免交通拥堵造成的诸多问题，保持交通道路的安全、舒适和高速的特性，是我国目前遇到的一大难题。本系统基于北斗导航，在交通拥堵问题愈演愈烈的背景下，提出了一种低成本的交通通行优化系统。本系统由电源模块，定位传输模块，终端三个模块构成。太阳能电池给系统进行供电，北斗、STM32 和树莓派组成定位传输模块，对指定道路区域车辆算法识别，判断是否拥堵，进而调整红绿灯时间，由 LoRa 进行串口通信，最后将数据传输至终端的阿里云服务器，实时的对道路状况进行观测，车辆得以更有效率的通过路口。本系统具有高效性、低成本、可视化等优点，算法具有算量小、稳定性和可靠性高等特性，能够有效地对日益拥堵的交通状况进行调整，具有一定的现实意义。

**【关键词】** 北斗导航，LoRa，云服务器，后方交会测距

**【Abstract】** With the rapid development of social economy and the rapid growth of urban traffic demand, traffic problems seem to have become a major problem that plagues urban development. It brings a series of problems, making traffic congestion become the "bottleneck" restricting urban economic and social development. How to avoid and reduce the impact of traffic congestion and maintain the characteristics of high speed, safety and comfort of road traffic has become an urgent problem in China. This system is based on Beidou navigation. Under the background of traffic congestion, a low-cost traffic optimization system is proposed. The system consists of three modules: power module, positioning transmission module and terminal module. The solar cell supplies power to the system. Beidou, STM32 and raspberry pie form a positioning transmission module to identify the vehicles in the designated road area, judge whether they are congested, and then adjust the traffic light time. Lora carries out serial communication, and finally transmits the data to the terminal's alicloud server to observe the road conditions in real time, so that the vehicles can pass through the intersection more efficiently. The system has the advantages of high efficiency, low cost and visualization. The algorithm has the characteristics of small amount of calculation, high stability and reliability. It can effectively adjust the increasingly congested traffic conditions, and has certain practical significance.

**【Key words】** Beidou navigation, LoRa, cloud server, resection and ranging

---

# 1 背景和意义

## 1.1 研究背景

随着城市化进程的加快，城市对于交通通行的需求不断增加，交通问题已然成为城市经济和社会发展中的一项重大问题，它所带来的多方面问题使得交通拥堵成为制约城市现代化发展的“瓶颈”。我国人口居多，车辆数已达世界之最，所以对于车辆行驶的安全与便利的解决方案迫在眉睫。根据 2019 年度全国前五十城市交通拥堵指数排名，多于半数的城市拥堵指数同 2018 年相比情况更为严重。

2019年度排名	排名环比升降	城市	2019年度通勤高峰拥堵指数	拥堵指数同比2018年度	2019年度通勤高峰实际速度 (km/h)	2019年度排名	排名环比升降	城市	2019年度通勤高峰拥堵指数	拥堵指数同比2018年度	2019年度通勤高峰实际速度 (km/h)
1	↑ 2	重庆	2.165	↑ 18.70%	23.64	26	↓ 5	杭州	1.627	↑ 3.11%	28.16
2	↓ 1	北京	2.040	↑ 6.44%	25.12	27	↑ 4	衡阳	1.625	↑ 5.84%	27.77
3	↑ 3	贵阳	1.979	↑ 14.31%	25.79	28	↑ 4	福州	1.613	↑ 5.49%	30.79
4	↓ 2	哈尔滨	1.905	↑ 0.35%	23.08	29	↓ 11	天津	1.612	↑ 1.54%	32.07
5	↓ 1	长春	1.777	↓ 2.33%	26.69	30	↑ 10	成都	1.610	↑ 7.14%	32.70
6	↑ 21	广州	1.744	↑ 11.16%	29.89	31	↓ 12	济宁	1.605	↑ 1.28%	26.08
7	↓ 2	上海	1.739	↓ 4.34%	25.56	32	↑ 18	张家口	1.600	↑ 9.45%	32.43
8	↑ 30	西安	1.730	↑ 14.86%	28.13	33	↑ 15	深圳	1.600	↑ 9.05%	32.96
9	↓ 2	呼和浩特	1.725	↑ 2.37%	28.83	34	↑ 21	石家庄	1.593	↑ 10.38%	35.23
10	↑ 6	武汉	1.716	↑ 6.97%	27.08	35	↑ 2	东莞	1.588	↑ 5.28%	32.93
11	↑ 3	合肥	1.712	↑ 5.43%	27.18	36	↑ 3	郑州	1.580	↑ 5.11%	31.82
12	↓ 1	南京	1.705	↑ 3.38%	27.51	37	↑ 7	韶关	1.577	↑ 6.12%	29.34
13	↑ 33	沧州	1.705	↑ 15.20%	30.12	38	↓ 15	大理	1.576	↑ 0.09%	28.88
14	↑ 44	唐山	1.702	↑ 18.77%	30.42	39	↑ 3	青岛	1.574	↑ 5.72%	30.13
15	↑ 11	佛山	1.696	↑ 7.97%	29.65	40	↓ 7	惠州	1.569	↑ 2.70%	29.58
16	↓ 1	长沙	1.687	↑ 4.49%	28.89	41	↑ 25	保定	1.561	↑ 11.95%	35.54
17	↓ 8	济南	1.684	↑ 1.24%	29.09	42	↓ 14	汕头	1.551	↓ 0.25%	26.54
18	↓ 10	沈阳	1.677	↓ 0.36%	26.10	43	↓ 13	桂林	1.550	↑ 0.75%	26.34
19	↓ 9	昆明	1.676	↑ 1.51%	28.99	44	↑ 7	兰州	1.548	↑ 6.54%	28.86
20	↑ 9	厦门	1.666	↑ 7.46%	29.80	45	↓ 25	绵阳	1.534	↓ 2.84%	31.01
21	↓ 9	大连	1.659	↑ 0.69%	26.32	46	↓ 5	海口	1.528	↑ 1.81%	27.78
22	↑ 12	廊坊	1.655	↑ 8.94%	31.68	47	↑ 17	临沂	1.527	↑ 9.43%	29.67
23	↓ 10	乐山	1.654	↑ 1.78%	27.55	48	↓ 23	南宁	1.526	↓ 2.89%	30.85
24	↓ 7	珠海	1.650	↑ 3.93%	31.96	49	↓ 2	太原	1.523	↑ 3.66%	34.69
25	↑ 18	秦皇岛	1.646	↑ 10.68%	30.84	50	↑ 2	徐州	1.519	↑ 4.85%	28.84

图 1-1 2019 年度全国前五十城市交通拥堵指数排名

## 1.2 意义

### 1.2.1 市场痛点

随着经济的飞速发展，我国经济水平日益提高，车辆这一曾经的奢侈品，现在已经遍及各家，但随之而来的车辆拥堵问题也成为人们所头疼的事。如何减轻和避免交通拥堵造成的诸多问题，保持交通道路的安全、舒适和高速的特性，是我国目前遇到的一大难题。参考 2011 年北京市地方标准《城市道路交通运行评价指标体系》对于交通状态等级划分方法。所采用的拥堵与速度区间相对关系。如表 1.2.1 所示，

表 1-1 拥堵等级与速度划分区间 (km/h)

道路等级	畅通	基本畅通	轻度拥堵	中度拥堵	非常拥堵
快速路	V>65	50<V65	35<V50	20<V35	V20
主干道	V>40	30<V40	20<V30	15<V20	V15
次干道	V>35	25<V35	15<V25	10<V15	V10
支路	V>35	25<V35	15<V25	10<V15	V10

针对这样的现象，在一些容易拥堵的地点，利用本项目设计的交通通行优化系统，针对车辆状况对红绿灯时间进行调整就显得格外重要。

### 1.2.2 北斗应用的意义

说起 GPS，我们的第一反应就是汽车、手机上的定位系统，而这款系统也是全球使用人数最多，覆盖范围最广的。然而，随着中美两国关系的持续紧

张态势，一旦美方需要，就可以随时切断服务，这时就会导致他国处于无头苍蝇的状态，让美方不战而胜。因此，作为世界强国，中方有责任，也有义务打造本国的定位系统，也就是我们耳熟能详的北斗，从而降低对 GPS 的依赖。

## 2 系统总体设计方案

本系统一共由三个部分组成：第一部分，电源模块，负责给树莓派和 stm32 供电，让我们的工作装置正常运行；第二部分，定位传输模块，由北斗、stm32 和树莓派组成，判定车辆是否在指定道路区域，并通过车辆的数量来判断是否造成拥堵；第三部分，终端部分，由上位机构成，上位机采用的是阿里云服务器，将处理好的信息上传至阿里云的物联网应用开发服务平台，实时的显示规定道路中车辆的具体位置以及是否为拥挤情况。

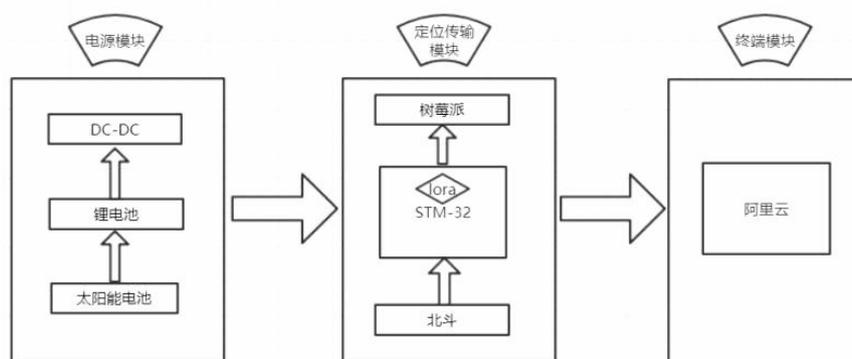


图 2-1 系统设计方案

## 3 系统硬件构成

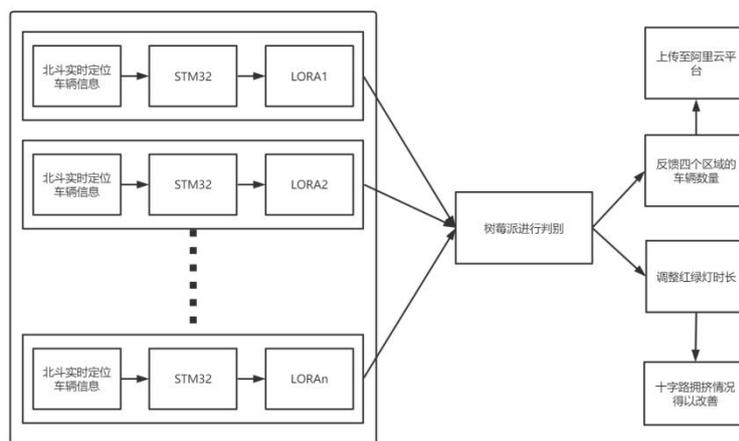


图 3-1 系统硬件实现流程

### 3.1 电源模块

我们采用的电源管理模块是太阳能电源。太阳能电源适用于 6V~24V 太阳能板，支持通过太阳能板/USB 接口给 3.7V 可充放电锂电池充电，支持 5V/1A 稳压输出，工作稳定且安全，能够在户外为设备储存能量。



图 3-2 电源模块

### 3.2 定位传输模块

#### 3.2.1 北斗模块简介

北斗模块，GPS 与 TK-S1216F8-BD 是一款具有很好效果的 GPS/北斗双模定位模块。该模块有多个特点，其特点包括采用 S1216F8-BD 模组，形体微小，性能稳定；其可运营多个串口进行参数的多种设置，且可保存在内部 FLASH，使用便捷；因为带有 IPX 接口，可以连接各种有源天线。模块续航时间持久，拥有可充电后备电池，及时面临断电仍然可以保持多种数据；在主电源断开后，后备电池可以维持半小时之久的北斗星历数据的保存，以支持双重启动，从而实现急速定位。外部系统通过串口连接，串口波特率支持 4800、9600、19200、38400（默认）等多种不同速率，兼容 5V/3.3V 单片机系统，能够与 stm32 模块进行连接。在该项目中北斗模块对小车进行位置判别与记录，同时对实物小车进行定位。

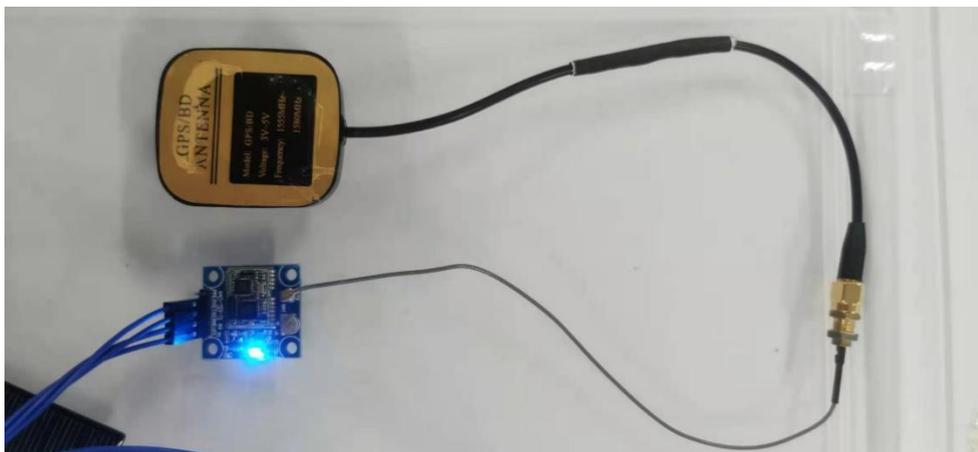


图 3-3 北斗模块实物图

#### 3.2.2 LoRa 无线串口模块简介

ALIENTEK 推出的一款体积小、功耗小、性能高，远距离 LORA 无线串口模块。模块设计是采用 ISM 频段射频 SX1278 扩频芯片，该 lora 工作频率 410Mhz~441Mhz，以步进信道为 1Mhz 频率，总共 32 个信道，可通过智能 AT 指令在线修改串口发射功率，空中速率、工作模式等各种参数，最令人惊奇的是能够支持固件升级这一强大功能。我们通过 LoRa 广播来点对多的信息。传输实现同地址、同信道、同无线速率的模块，无论哪一个模块发送，其余模

块都可以接收到信息。Lora 模块采用广播技术对数据进行接收转化，之后将其灵敏的发送到树莓派。

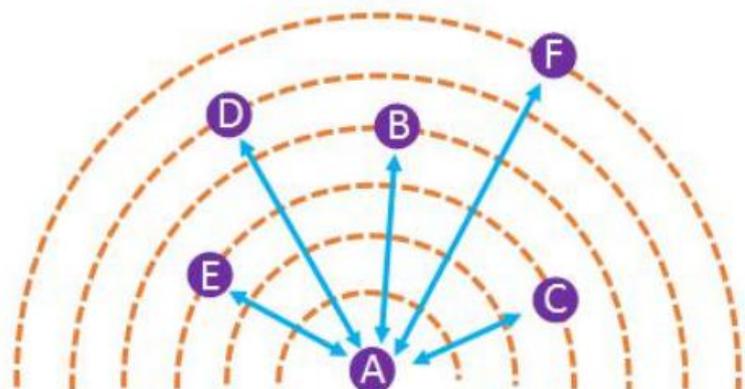


图 3-4 透明传输（点对多）

### 3.2.3 STM32 简介

STM32 种类繁多，足以应付市场的各种需求，以内核分化有 Cortex-M0、M3、M4 和 M7 这四种，而每个强大的内核又可大概细分为主流、性能之高和功耗之低。我们采用的是 MINI-STM32，虽然不如战舰版功能多，但是其主要性能都一一齐全。该单片机采用 STM32F103RBT6 作为核心 MCU，并外接了 TFT 彩屏模块、UART、USB 接口、ADC 电压调节等硬件接口，聚合成功能强大的开发环境，能够自主实现软件的编程调试。STM32 单片机实现数据展示和信号的接收，同时通过每秒多次的信号发出能够实时展示出小车的位置，实现可视化目的。



图 3-5 MINI-STM32 实物图

### 3.2.4 树莓派简介

Raspberry Pi 中文称为树莓派，设计此产品是为了计算机编程教育而产生的，只有卡片大小的迷你式电脑。Raspberry Pi 底层是一个全面的 Linux 操作系统。与 Android 不同的是，Android 底层仅仅还是一个简洁的 Linux 嵌入式版本。树莓派是一个强大的硬件平台，其包含开放源代码，此平台包含一块具备 I/O 功能的电路板及 SoC 的 ARM 芯片，并且拥有数量庞大的 Linux 软件。本系统所用树莓派具体硬件配置如下图所示：



图 3-6 (1) 树莓派实物图

树莓派收集多个 lora 传输的信息进行分析与运算，之后将其传输至阿里云。同时树莓派上可以运行 Debain Linux 系统，烧录好的 Debian 系统镜像的 SD 卡可以插入树莓派中，通过 HDMI 到 VAG 线的转化将电脑屏幕与树莓派相连接，并接入鼠标与键盘。开发板上电后可以显示出如下图 4 所示界面。在树莓派里可以用自身的 IDE 进行编程，我们的系统所含代码就是在这个基础上进行编程。

```
文件 编辑 视图 运行 工具 帮助
Ihonyy - /home/pi/Desktop/aliyun-iot-demo-python/aliyun.py @ 352: 1
aliyun.py x
1
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3 import paho.mqtt.client as mqtt
4 import time
5 import hashlib
6 import hmac
7 import random
8 import json
9 import serial
10 from time import sleep
11 from itertools import groupby
12 #这个就是我们在阿里云注册产品和设备时的三元组啦
13 #把我们自己对应的三元组填进去即可
14 options = {
15     'productKey': 'a1XLRqZFsc0',
16     'deviceName': 'raspberry2',
17     'deviceSecret': '467130de221fb5d4b6b68577f377fc9d',
18     'regionId': 'cn-shanghai'
19 }
20
21 HOST = options['productKey'] + '.iot-as-mqtt.' + options['regionId'] + '.aliyuncs.com'
22 PORT = 1883
23 PUB_TOPIC = "/sys/" + options['productKey'] + "/" + options['deviceName'] + "/thing/event/f
24
25
26 # The callback for when the client receives a CONNACK response from the server.
27 def on_connect(client, userdata, flags, rc):
28     print("Connected with result code "+str(rc))
29     # client.subscribe('the/topic')
30
31 # The callback for when a PUBLISH message is received from the server
```

图 3-7 (2) 树莓派 IDE 控制界面

```
num= 1
A qu: 0
B qu: 1
C qu: 2
D qu: 0
send data to iot server: {'id': 1615710667, 'params': {'TotalParkSpaceA': 0, 'TotalParkSpaceB': 0, 'TotalParkSpaceC': 0, 'TotalParkSpaceD': 0, 'zxc': 1, 'GeoLocation': {'latitude': 0.00202, 'longitude': 0.00419}}, 'method': 'thing.event.property.post'}
/sys/a1XlRqZFsc0/raspberry2/thing/event/property/post_reply b'{"code":200,"data":{},"id":"1615710667","message":"success","method":"thing.event.property.post","version":"1.0"}'
```

图 3-8 (3) 实际接收到的道路口信息

### 3.3 终端模块

#### 3.3.1 阿里云服务器

IoT Studio 是阿里云针对于物联网应用场景提供的强有力的生产力工具，是阿里云物联网平台的重要组成。物联网应用开发技术提供了 Web 可视化开发的平台和物联网数据分析等多个便捷的物联网开发工具，解决物联网开发领域繁琐过程的问题。至今为止，物联网企业级生产力的数据分析、业务逻辑开发、Web 可视化开发三个强有力工具合并归一，其目的是帮助物联网企业走完最后一公里。具体的地理位置和道路情况将会显示在上位机上。如图 3.3.1，上位机会显示指定路段中车辆数量，如果产生拥堵情况，将会缩短等待红灯的时间，提前让车辆通行。



图 3-9 阿里云服务器

## 4 系统原理及其功能实现设计

### 4.1 程序流程图

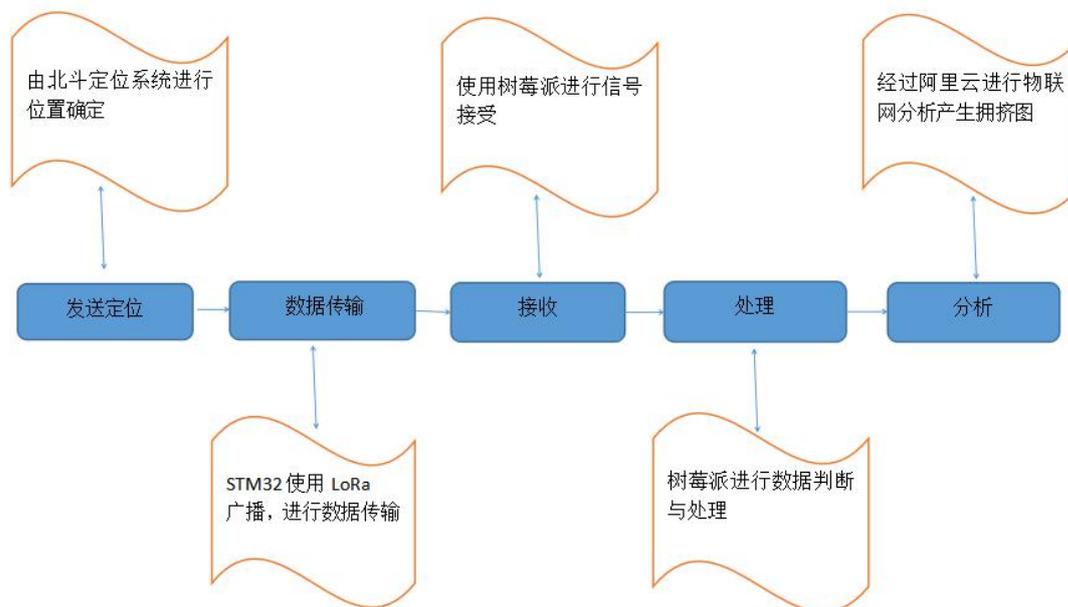


图 4-1 程序流程图框图

### 4.2 识别算法原理

#### 4.2.1 矢量和射线法结合

在识别车辆是否在规定范围内，我们发现有些道路并不符合长方形模型，而更类似于矩形模型，因此我们采用了判别内外点多边形算法，判断点是计算机图形学中最基本的算法，广泛应用于计算机图形处理、模式识别、CAD 和科学可视化等领域。判断多边形内外点的算法主要有方向射线法和角度法。角度法应采用复杂的三角运算，计算量偏大。定向射线法是工程中应用最广泛的方法。该方法简单可靠，但对边界点、边界、射线共线等特殊情况处理困难。近年来，人们提出了基于多边形内外可见边的点判断和多边形分层存储等方法，可以缩短检测和处理所需的时间。这些方法主要在可靠性和计算量方面进行了改进。因此，我们最终采用的方法是将定向角法和射线法结合起来，解决了射线法简单应用的一些缺点，具有简单、快速、易于实现的优点。接下来是实现点是否在多边形外的推导过程。

我们假设射线  $l$  与多边形  $P$  的  $S_i$  交点为  $k_j$ ，且  $k_j$  不属于多边形  $P$  的顶点，则将交点分别插入到  $P_i$ 、 $P_{i+1}$  之间形成两条有向线段  $P_i k_j$ 、 $k_j P_{i+1}$ 。将所有此类交点都添加进顶点序列中，形成一个新的多边形  $P'$ ，顶点序列为  $P_0, \dots, P_i, k_j, P_{i+1}, \dots, P_m, k_k, P_{m+1}, P_n (= P_0)$ ，如图 2 (a) 形成的顶点序列为  $P_0, P_1, k_0, P_2, P_3, P_0$ 。因此多边形  $P'$  的有向线段与射线  $l$  的跨越情况全部转换为半跨越，如图 2 (b), (c), (d), (e) 四类情况。若将点  $Q$  与多边形  $P'$  的各个顶点相连，组成一系列有向角。设多边形  $P'$  以  $k_i$  作为有向线段终点的有向边记为  $b_i$ ，以  $k_i$  作为有向线段起点的有向边记为  $e_i$ 。在多边形  $P'$  中任选一个在射线  $l$  上的点  $k_i$  作为起始点，则每两个交点之间的所有有向线段所组成的有向角的代数和为  $\text{SumAngle} = f(e_i, l) + f(b_{i+1}, l)$ ，如图 2 (B)、(c) 所示可知  $\text{SumAngle} =$

2 或 - 2 时, 有向角和为  $360^\circ$  或  $-360^\circ$ ; 如图 2 (D)、(e) 所示可知  $\text{SumAngle} = 0^\circ$  时, 有向角和为 0。显然可以得出  $\sum_{i=0}^{n-1} f(\text{si}, l) = 0$  时, 有向角的角度代数和为 0, 所以点 Q 在 多边形 P' 外, 因 P' 与 P 同构, 因此, 点 Q 在 多边形 P 外。

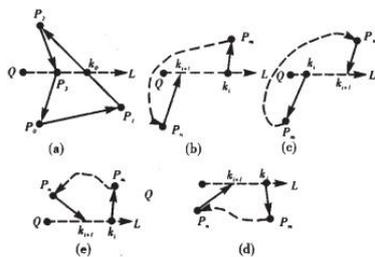


图 4-2 射线与多边形相交和跨越的几种情况

#### 4.2.2 后方交会测距法

北斗卫星定位系统的基本原理是根据高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据, 采用空间距离后方交会的方法, 确定待测点的位置。通过判定两车的间距可以大致判断路段的拥堵情况。以离斑马线较远的两车为例, 如果两车相距逐渐简短, 则表明后方车辆正在减速或者前车已经停止, 此时可以说明道路呈现出了拥堵状态。根据后方交会原理, 为了求解这三个未知数, 必须建立一组三元方程, 这组方程来自三颗卫星与目标之间的距离 (下图中的 D1-D4 是已知的)。由于时间相关的误差, 需要第四颗卫星。由四颗星计算的定位称为三维定位。由三星计算的定位称为二维定位。如图所示, 假设北斗卫星定位系统接收机在时间 t 安装在地面被测点, 则可以确定北斗卫星定位系统信号到达接收机的时间  $\Delta t$ 。结合卫星星历和接收器接收到的其他数据, 可以确定以下四个方程式:

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + c(Vt_1 - Vt_0) = d_1.$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 - (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} + c(Vt_2 - Vt_0) = d_2.$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 - (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} + c(Vt_3 - Vt_0) = d_3.$$

$$\sqrt{(x_4 - x)^2 - (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} + c(Vt_4 - Vt_0) = d_4.$$

原理图如图 4.2.2 所示,

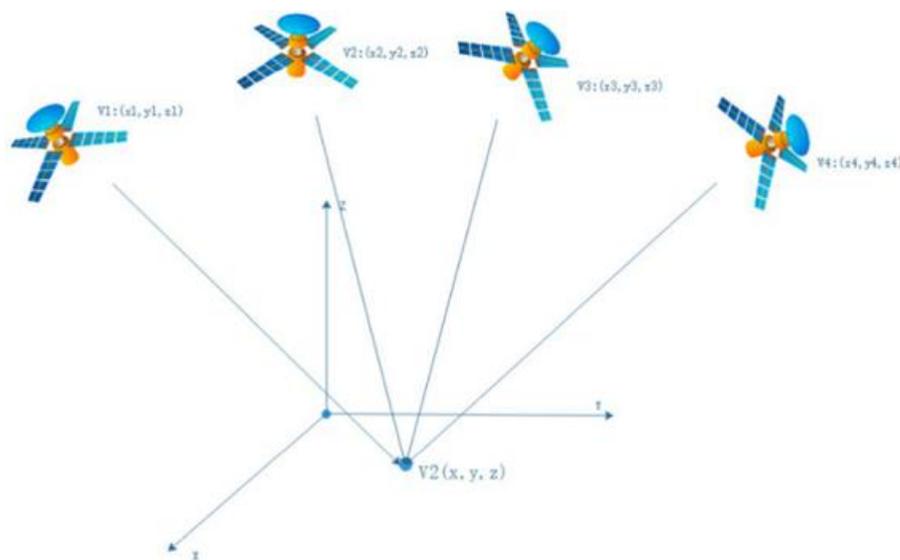


图 4-3 后方交互原理图

## 5 优势与总结

### 5.1 创新点

**及时性：**系统直接获取用户的具体坐标位置，并通过边缘计算，判断当前道路的拥堵情况，直接调控红绿灯，缓解道路拥堵。相较于高德地图等 app，只能显示道路拥堵情况被动进行缓解堵塞，本系统既可以主动调节将拥堵防患于未来。在算法方面采用矢量和射线法结合，能够运用在规定的道路范围内，同其他算法相比较，本系统运用的算法具有计算量小、稳定性和可靠性高等优点。

**可视化：**通过阿里云平台，能够提供可视化的界面，用户可以实时通过界面查看拥堵情况，并将其发布到 Web 可视化工作台中用于可视化页面搭建。同时，阿里云平台应用服务开发完毕后，可以直接托管在云端，并支持直接预览、使用，无需部署即可交付使用。

**低成本：**自制电源模块，stm32、树莓派与北斗模块成本相对较低，且阿里云目前为开放平台，相关的使用无需费用。整体的系统经费在可控的预期内。

**高效率：**能够为用户提供实时的拥堵情况，提前规划好行车路线，提高了通勤的效率。

**其他优点：**基于十二届全国人大常委会第八次会议通过的《环保法修订案》法案，本产品购买并使用的原材料和相关模块是正规渠道所生产的，在尽可能减少环境污染的前提下对软件、硬件进行改造，符合绿色环保下的工业机械设计思路，并最终对依法建设“美丽中国”的愿景而做出应有的贡献。

### 5.2 前景展望与总结

如果最终能够通过交通通行优化系统实现道路口的通畅，则在一定程度上可以减轻和避免交通拥堵造成的影响，进而保持交通道路的安全、舒适和高速的相关特性。首先就各个硬件的选型和特点做了细致的说明，并就每个硬件的工作方式及流程做了仔细的说明，并完成了上位机部分的；最后在实际环境下进行了整个系统的调试检测，并在实际模拟中取得了预期的效果，表明了整个系统的可应用性。但由于受到时间和条件的限制，系统在硬件方面和软件方面都存在可优化改善的地方，对于更为复杂的路段也需要更新算法。本文的数据

---

采集、算法都是在比较理想的状态下检测，都是以理论为前提，而实际工作中由于其工作原理的本质不同，所考虑到复杂的道路情况，如何能系统应用于复杂路段则更深入研究与完善。后期我们也会更新算法，尝试采用时下热门的NB-IoT，使系统在技术和商业有新的突破，同时能够增加更多的应用场景。

### 参考文献

- [1] 陈树强,陈学工,王丽青.判定检测点是否是多边形内的新方法[J].微电子学与计算机,2006,23(8):194-199.
- [2] DL Schrank, David, Tim Baker. A Methodology For Analyzing Mobility Levels In Small Cities: Lessons Learned In Grand Junction, Colorado [C]. Proceedings of the 80th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, 2002.
- [3] Bhat. Alternative methods for measuring congestion levels[J]. Transportation Research Record. 1994.
- [4] 任福田,刘小明,荣建等译.道路通行能力手册[M].北京:人民交通出版社,2007:7-7.
- [5] 朱新慧,王刃.卫星导航接收机测距精度评价方法研究[J].全球定位系统,2007,05:14-23.

---

# 基于北斗与 WSN 的矿山地质环境灾害监管系统

作者：郑杰龙、聂德伟、崔浩、穆绍强

指导教师：何原荣、邓健

学校：厦门理工学院

---

**【摘要】** 矿产资源影响着我国重工业的兴衰，是我国经济社会发展的命脉所在。近年来因为矿山的进一步开发利用，矿山地质环境问题显得愈发严峻。基于此，为了对矿山的进行地质环境监管，对矿山的地质灾害进行预警预报，本文提出了基于北斗与 WSN（无线传感器网络）的矿山地质环境监管系统。两个子系统的有机结合，充分发挥了 BDS 的高精度、全天候实时监测和 WSN 的大范围、低成本、不受卫星信号影响、数据多样化等优势。两者互有优势，互相补充。构成了小范围重点监测，大范围全面监测的监测点布网。大大提高了矿山地区地质灾害监测数据的可靠性和可研究性。保证了矿山地区生产作业的安全，维护了生态环境的平衡。

**【关键词】** 北斗，WSN，矿山，地质灾害，环境灾害

**【Abstract】** Mineral resources affect the rise and fall of heavy industry in China and are the lifeblood of China's economic and social development. In recent years, due to the further development and utilization of mines, geological hazards in mines have become more and more serious. Based on this, a mine disaster monitoring system based on BDS and WSN is proposed in this paper in order to monitor the deformation of mines and give early warning and forecast of geological disasters in mines. The organic combination of the two subsystems gives full play to the advantages of HIGH precision, all-weather real-time monitoring and WSN, such as large range, low cost, not affected by signals, and data diversification. Both have advantages and complement each other. It forms a network of monitoring points with small scope of key monitoring and large scope of comprehensive monitoring. The reliability and researchability of geological hazard monitoring data in mine area are greatly improved. It ensures the safety of production and operation in mining areas and maintains the balance of ecological environment.

**【Key words】** BDS, WSN, Mines, Geological disaster, Environmental disaster

---

## 1 背景及意义

矿产资源是我国工业的“粮食”与“血液”，是国民经济与社会发展的重要物质基础<sup>[1]</sup>。近年来，我国加大了矿产资源的开发力度，虽然加快了国民经济的发展，但是同时也带来了许多生产事故。矿山开采造成的环境破坏主要包括地面沉降、水污染、植被破坏等，更为严重的便是引发地质灾害，如地面塌陷、崩塌、地裂缝、山体滑坡、泥石流等<sup>[2]</sup>。直接对矿山工作人员和附近居民的生命财产安全造成影响。不仅带来了生产隐患、人员伤亡，还有不可估量的经济损失。

矿山开采造成地质结构的变化，破坏了地下岩层的相对平衡状态，周围岩体的应力状态发生，进而导致地表出现裂缝和塌陷的现象。突然的天气恶化常常是导致山体发生灾害的原因。在雨季的大暴雨冲刷下，水流会使土壤变得松散，含水层面的突然升高，也会打破地下结构的平衡，危岩体更容易发生滑坡和泥石流<sup>[3]</sup>。现今的灾害监测手段有大地测量法，近景摄影测量法，GPS、RS、TDR 法。传统的大地测量法利用光学仪器和光电仪器对形变点进行导线测量和水准测量，该方法精度最高，但是效率低<sup>[3]</sup>。近景摄影测量法使用摄影仪器，可以对影像上覆盖的大部分点进行形变监测，相比与大地测量法该方法覆盖面积大，效率高，精度降低<sup>[4]</sup>。但是总的来说，两种人工测量的方法周期性长，受人为影像因素大，易受天气和地形影响，在灾害发生时人员无法快速到达现场进行物理测量，人员到达现场作业具有较高的危险性。所以无法及时对灾害的发生进行警报反馈，也不能成为灾害发生时的应急测量手段。RS 法可以大范围测量边坡形变位移数据<sup>[5]</sup>，但是精度易受植被和天气影响，无人机遥感是半人工测量法，仍为一次性测量，一次性测量方法若要考虑长时间多数据的持续获取，需要较高的金钱和时间成本，和大量人力物力。TDR 法价格低，可以实行大范围布控，可以监测发生形变的位置，但难以确定形变量，无法确定位移方向<sup>[6]</sup>。GPS 法不受天气和地形因素的影响，可以二十四小时全天候进行监控<sup>[7]</sup>，但在追求精度的条件下，成本会大大增加，并且受到卫星信号的限制<sup>[8]</sup>。要做到对矿山环境进行监测，不只需要监测矿山地表位移，还需要更多不同的环境参数，需要传感器的配合。矿山地势复杂，环境恶劣传统的有线传输已经难以满足需求，相比之下无线传感器网络以其抗干扰性强，网络重组能力强，低功耗和低成本<sup>[9]</sup>，成为了新时代传输界的宠儿。但是主流的 GPRS，WIFI，ZigBee，蓝牙等无线传输技术已经无法满足矿山的远距离传输的需求，本文采用了 LoRa 技术来对矿山传感器节点进行组网<sup>[10-11]</sup>。

对此，本文提出了基于北斗和 WSN 的地质灾害监测系统。该系统结合了北斗的高精度、高时间分辨率和传感器的低成本、不受信号限制等技术优势。组成了一个对地质灾害进行全天候、全方位、高地表覆盖率、高性价比的地质灾害监测系统。该系统可以对灾害高发地区实施地表形变长期变化统计分析，为灾害提供预警，为以后的决策分析提供依据。也可以提供实时警报功能，在地质灾害发生后及时发出警报，并且能够第一时间提供受灾区的发生地点和初步判断灾害严重程度，为下一步的应急救援提供数据支持。

## 2 基于北斗的地质灾害监测

GPS 是一种日臻成熟的全球导航定位系统，具有全天候、测站无需通视、效率高、人力低、费用省等优点，被广泛应用于地形测量，精度高（可从十米至亚毫米级），时间分辨率高（可达几分钟至几秒）。尽管 GPS 具备上述优势，但在此处并不适用于我国国情。相对来说由于 GPS 受外国控制，硬件设备昂贵，卫星导航电文解码不完全对我国开放，卫星定位精度受国家政策限制。并且在我国领域可视卫星较少，尤其在我国南部复杂地形区域，卫星信号不好甚至出现缺失，容易导致接收机出现失锁、周跳等情况。相比之下，北斗在我国拥有更好的信号覆盖，并且带有短报文通讯功能，拥有完全的自主控制权，但北斗服役时间不长，在地形形变监测领域还处于发展阶段，有赖于国家政策支持<sup>[12]</sup>。

## 2.1 基准点和监测点的布设

在矿山形变监测中，若在 CORS 系统覆盖范围内，优先选取 CORS 技术作为校正方法。在 CORS 系统覆盖范围之外则需要架设基准站，基准点和监测点的选点位置十分重要，直接影响到监测点形变监测的准确性和可靠性，基准点和监测点的选点必须选取远离雷达站、变电站、高压输电线路、高大建筑物、高大树木遮蔽的区域，以及大面积水域，排除一切外部干扰信号的因素。同时，基准点的布设必须选择远离矿区的地理结构稳定的地带，不受矿山开采作业的影响。监测点选点应具有代表性，相对稳定且变形敏感的地方，能够有效反应矿山作业带来的地形形变，以及对边坡滑坡作出预估和分析<sup>[13]</sup>。

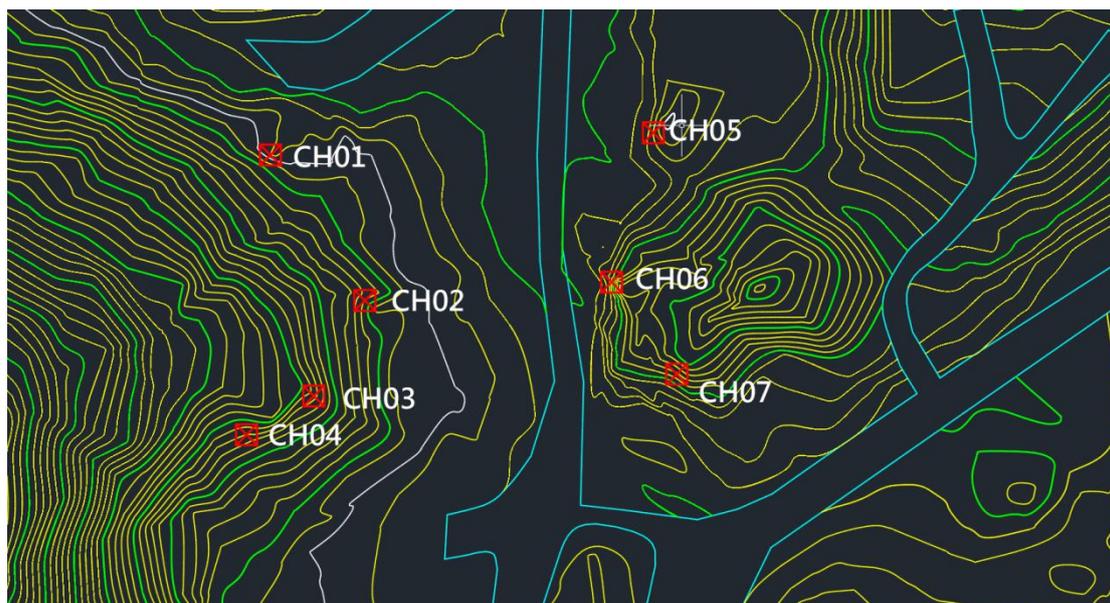


图 2-1 矿区监测点的布设

## 2.2 接收机的安置

因为接收机设备价格昂贵，为了降低成本，提高监测点覆盖率，该课题采用一机多天线监测系统。接入一机多天线控制器，用一台接收机连接多个天线，并将天线布设在同一边坡的不同监测点上，这样监测出来的数据在保持了原有的多台接收机的监测量和监测精度的同时，大大降低了监测成本（天线的价格仅为接收机的二十分之一）。同时，接收机可以和天线分开安置，放在土地较为稳定的地段，当边坡出现塌落时，仅仅损失了天线那一部分，减少了灾害损失成本。这种模式牺牲了单个监测点的时间分辨率来提高空间分辨率，以更低的成本测得的数据<sup>[13]</sup>，在保证精度达标的同时更能代表边坡的总体位移水平，避免了数据的偶然性。具体的时间分辨率和空间分辨率的取舍，可以根据成本的控制，边坡的危险性，和当地天气和矿山开采情况来决定。

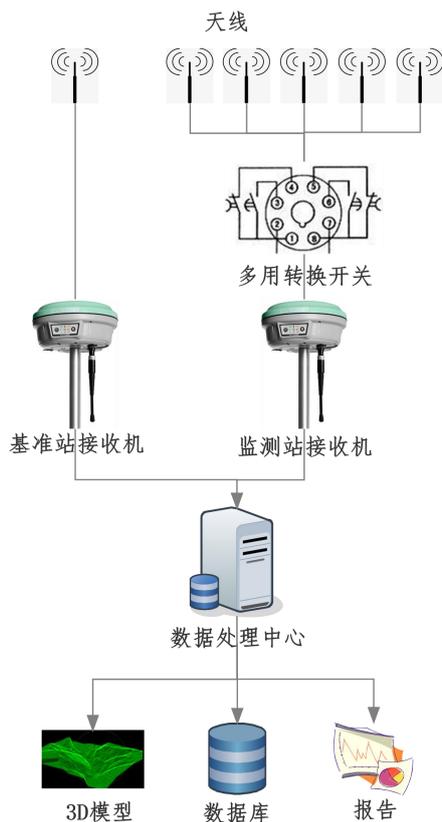


图 2-2 一机多天线监测系统示意图

### 2.3 数据应用分析

一般情况下露天开采边坡长期处于相对稳定的状态，在短时间内不会出现大幅度位移，但是如果遭到外部因素干扰，如矿山开采和天气影响，或者内部因素干扰，如地下含水层的变化和地质运动破坏了边坡的稳定状态，就有可能发生滑坡现象。对此，我们提出了两种监测模式：精密监测和实时动态监测。

露天边坡在短时间内不会有大幅度的变形，变化往往都是极小的，为了绘制监测点的平面和垂直方向的位移过程线，往往需要高精度的观测数据，根据 GB/T 18314-2009，地壳形变测量和局部形变监测一般需要 A 级或 B 级 GPS 网。B 级 GPS 网要求水平分量中误差不大于 5mm，垂直分量中误差不大于 10mm，北斗精密观测精度可达毫米至亚毫米级，可以满足上述要求。这类精密数据往往用来做统计分析，可以使用自动化程序进行安全状态监测、变形预测和滑坡预警，同时保留了源数据的可视化，可以凭借专家的丰富的经验来进行人工判断，又能提供原始数据中所潜藏的不易察觉的特征数据。

因为上述精密监测的方法为了确保精度，往往观测周期较长，应对未能及时作出预警的地质灾害事件，往往在精密监测的监测周期间隔内发生，则需要实时动态监测。当多个相邻监测点的坐标在短时间内的变化超出了阈值，或者出现大面积的信号丢失，则应发出灾害警报。

### 2.4 建设规范

为了保证北斗系统测得数据的准确性和稳定性，对本系统提出了以下几点规范要求：

- ①实时动态监测采用广播星历，精密监测采用精密星历求解卫星位置。
- ②高质量的双频 BDS 接收机。
- ③使用 CORS 系统或者基准站进行坐标校准。

- ④尽量减少基准站和监测站信号干扰。
- ⑤保证 BDS 接收机的电力供应，和设置备用电源。
- ⑥保证站点地墩稳定。
- ⑦做好防雷击措施。

### 3 基于 WSN 的环境监测

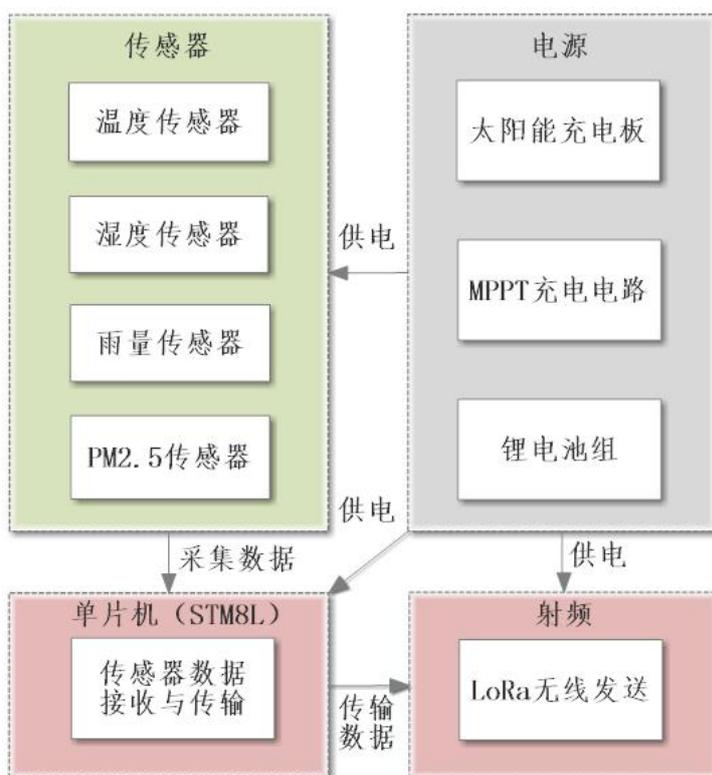


图 3-1 WSN 结构架构图

该 WSN 的各个节点主要由五个部分组成：电源模块，单片机模块，传感器模块，电路管理模块和通讯模块。电源模块是该系统的能量来源，为该系统提供了日常消耗所需的动力；单片机模块是整个系统的大脑，他决定了系统的数据采集频率和电量的智能管理，保证的系统在夜间和阴天环境下也能有间隔的运行；传感器模块则是系统的眼睛，代替了人工，在该节点进行有计划的测量；其中电路管理模块，连接了其他四个模块，起到协调各个模块的硬件和功能的作用，也是必不可少的一部分。节点的位置信息是提前用北斗精确测量而得，不需要配置北斗实时定位传感器。

#### 3.1 终端节点电源处理模块与电路管理模块

电源处理技术主要目的是达到电源自给自足并且降低断电风险。主要分为四个部分：太阳能充电模块，锂电池电量储存模块，锂电池电量管理模块，电路传输模块。

关键技术：

(1) 在电源供应方面，选用 LTC4020 芯片作为控制芯片来控制太阳能板采集太阳能并通过光电转化，实现太阳能的最大功率采集。

(2) 设置锂电池电量管理电路，实现对锂电池电量的监控和对锂电池的保护。

(3) 在直流电源转化上选用 DCDC 芯片 mp1584 为控制芯片设计电路，构建稳定的电路，实现高效率电能转化。

(4) 设置传感器供电开关电路，该部分是节点低功耗技术的关键。

### 3.2 单片机的低功耗设计

本文中选取 STM8L 低功耗单片机作为控制器，该单片机具有多种低功耗模式可供选择，通过选用内部低速时钟作为系统时钟。终端有三种工作模式：双向终端设备（Class A）、具有确定接收时隙的双向终端设备（Class B）和具有最大化接收时隙的双向终端设备（Class C），本文设计选用 Class A 工作模式进行工作。Class A 模式是最省电的一种工作模式，终端只有在读取传感器数据后，才向网关发送上行数据。整个终端运行流程如图 4 所示。单片机每 1s 对电量进行一次读取，当电池电量充足，且正在充电，则对传感器进行数据读取，并将数据由无线模块发送至网关。当不在充电或电池电量不足，则让芯片与外围设备进入休眠模式或将外围设备切断供电。如果连续十分钟未采集到数据，则读取传感器数据并发送。并且为了保证在阴天和晚上能够保证节点不断电，当感应到电池电量低于某个阈值后延长数据采集和发送间隔。如电量在 60%-80%之间，每 20 分钟采集传送数据一次；电量在 60%以下，每 40 分钟采集传送数据一次。

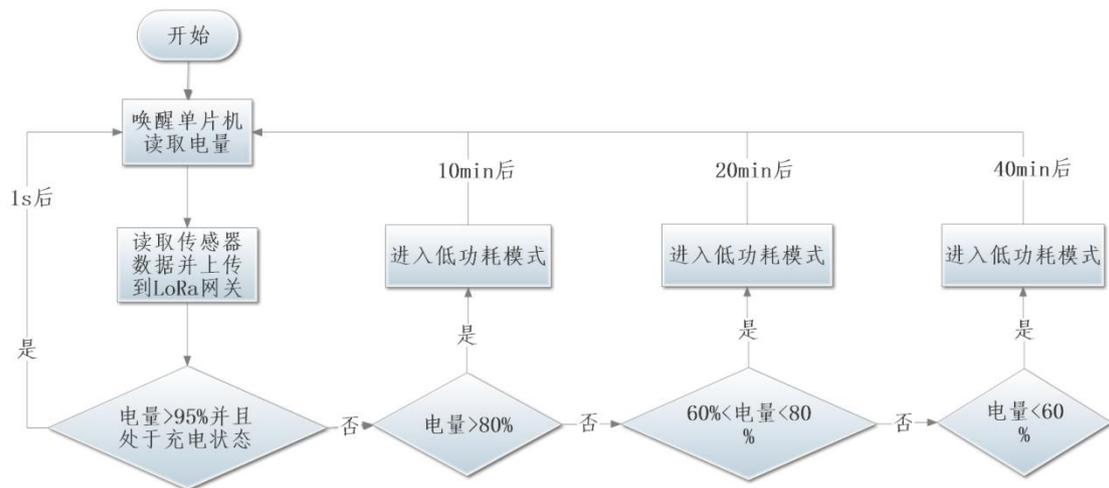


图 3-2 低功耗模块设计

选定的 STM8L 单片机通过 SPI 总线对 LoRa 模块直接通信，使用 MCU 调节 LoRa 芯片的功耗，并负责芯片的休眠和唤醒等功能。在除了接发模式以外的大部分时间里，芯片都必须处在超低功耗的休眠模式。

### 3.3 传感器数据采集模块

选取 STM8L 低功耗单片机读取传感器数据，并通过 LoRa 模块定时将数据发送到 LoRa 网关。对山体进行灾害监测需要监测多类数据，需要多种传感器进行数据采集，包括陀螺仪、加速度计、温度传感器、土壤湿度传感器、雨量传感器、PM2.5 传感器。这些传感器的实际功能如下：陀螺仪可测量采集节点所在山体位置的三维角速度的偏移测量；加速度计可对节点的三维方向的运动加速度数据进行测量。这两种参数直接反应了节点的位移变化，监测精度较北斗低，但是时间覆盖率高。温度传感器可监控节点的温度；土壤湿度传感器可测量土壤特定深度的湿度变化情况；雨量传感器可以检测某一时段的降雨量；PM2.5 传感器可以监测某一时间内的粉尘浓度。这四种参数都对监测和预防矿

山地质环境灾害有一定的帮助作用。因为实验条件的限制，本文后续没有提供陀螺仪，加速度计的实验数据。

### 3.4 LoRa 无线通讯模块

LoRa 因其传输距离远、功耗低、组网灵活与物联网的碎片化、低成本、大量连接的物联网十分契合。相较于 SigFox、NB-IoT 两种广域网通信技术，LoRa 工作于授权频段，不需要额外缴纳频率使用费。传输速率几十到几百 Kbps，郊区传输距离可达 15Km，并且传输速率越低，传输距离越远。

LoRa 技术是一种基于 LoRa 扩频调制技术的远距离通信方案，最早由美国 SemTech 公司于 2013 年推出。LoRa 技术与传统无线技术不同，它基于线性 Chirp 扩频调 (CSS) 解调技术，其有效传输距离已远远超过当前采用的 FSK 和 OOK 调制技术的无线系统。与当前 Sub-GHz 频段内其他无线通信技术相比，灵敏度较高，从而有效延长了了无线通信距离。LoRa 采用了前向纠错编码技术 (Forward Error Correction, FEC) 技术提高了信号传输的可靠性。前向纠错编码技术是数据在不可靠或强噪声干扰的信号通道中传输时，用来控制错误的一项技术：发送方在所传输的信息中加入了冗余码，可以自动纠正传输误码，目前 LoRa 主要使用 AES128 加密，在安全设计上具备全面性和前瞻性。LoRa 对信噪比要求较低，功率谱密度较低，信号的功率也很低，其次 LoRa 的传输速率很低，传输数据量小，降低了能耗，其接受电流仅为 10mA。LoRa 的网络容量非常大，一个 LoRa 网关可以连接上百万个 LoRa 节点，且支持多信道多数据速率的并行处理，系统容量大，超出了目前业界对 LPWAN 技术的容量要求。网络通信成本极低，同时支持窄带数据传输。总体来说，LoRa 技术提高了信号接收的灵敏度，能够以较低功耗实现长距离信号传输和大范围覆盖，具有较强的链路预算，可用于电池供电的终端设备。

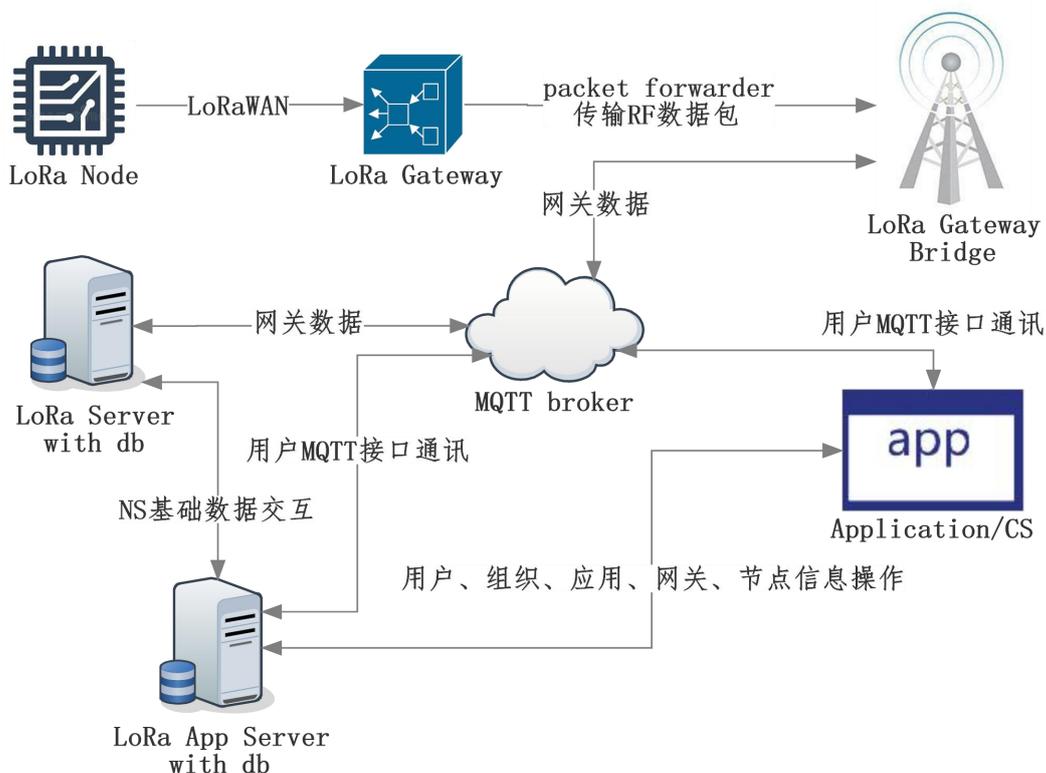


图 3-3 数据上行图

(1) LoRa 网关上运行 packet forwarder 软件，收集节点数据后进行封装并通过 UDP 转发至互联网上的 LoRa Gateway Bridge。

(2) LoRa Gateway Bridge 收到数据包并 JSON 化通过 MQTT 广播至 MQTT 代理服务。

(3) LoRa Server 通过 MQTT 订阅 LoRa Gateway Bridge 的消息，实时处理数据包并储存和通知 LoRa App Server。

(4) LoRa App Server 通过 gRPC 读取 LoRa Server 的信息或收到 Server 的推送，通过 HTTP 接口和 MQTT 广播向用户暴露。

(5) Application 用户可以直观观测并分析数据，根据天气预报，通过算法计算甚至对其获取时间进行调节干预，优化电量控制，在保证不断电的情况下最大化利用电能。

表 3-1 网关与节点不同距离下的信号参数

网关与节点距离	丢包率	Gateway_rx_rssi	Gateway_rx_snr
1500m	0%	-120dBm	3.5dB
3000m	0%	-111dBm	-2.2dB
4000m	0%	-123dBm	2dB
5000m	<5%	-130dBm	-16dB
5500m	<20%	-115dBm	-11.5dB
6000m	<47%	-129dBm	-12dB

经过多次测试，得到数据如该表，反映了不同距离下网关与节点的信号强度和信噪比，基本可以满足矿山范围内的信号覆盖。

## 4 地质环境灾害分析

### 4.1 基于 BDS 的形变监测分析

北斗接收机传回来的数据有点号、经纬度、WGS84 空间直角坐标和平面坐标。数据按每个小时分一个文件，然后按日期归档。上面两图是某点在一个小时内的平面变化图和竖直沉降图，采用的 WGS84 平面直角坐标系绘制而成，先人工检查剔除掉粗差后，以采集间隔为 1s 绘制 1h 内的散点图或者折线图。可以用来分析和预测地表数据变化情况。

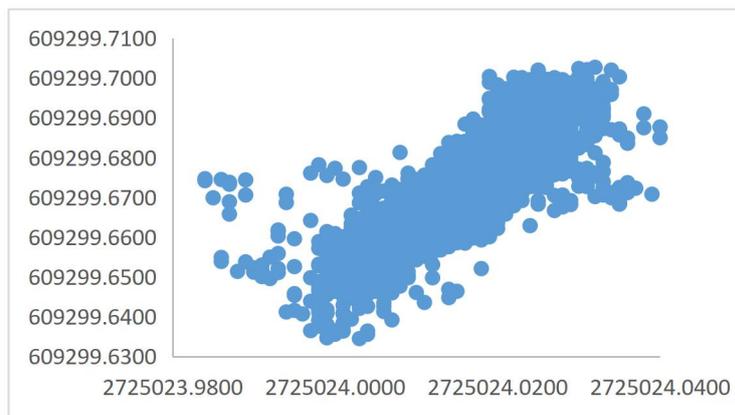


图 4-1 平面变化图

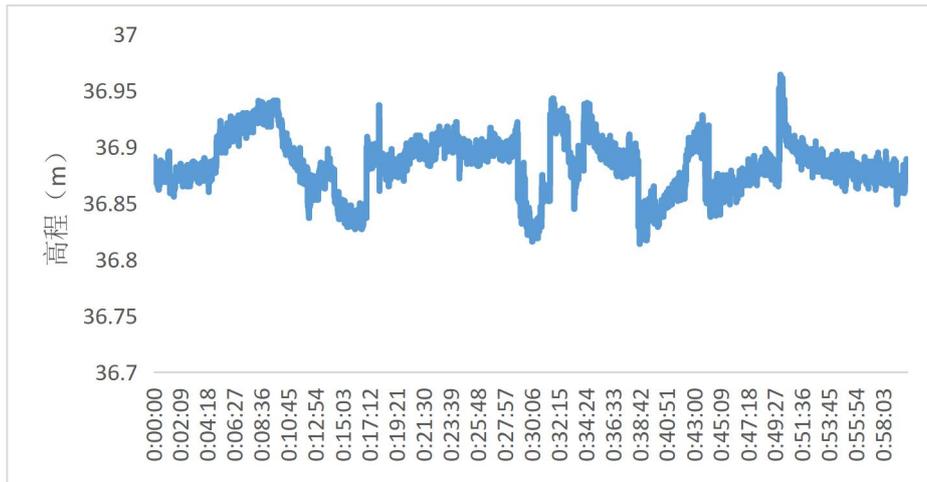


图 4-2 地表沉降图

图 6 中 X 轴和 Y 轴在 7cm 范围内浮动，图 7 中高程数据在 10cm 上下浮动。表明了该点没有发生较大变化，数据浮动由测量的偶然误差导致。

#### 4.2 基于 WSN 的环境参数统计分析



图 4-3 按节点查看传感器参数

进入软件客户端界面，可以从矿山的遥感地图分布上看到各个点的位置和连接情况，红色为当前选择的节点，绿色为连接成果的节点，黄色为未连接的节点。

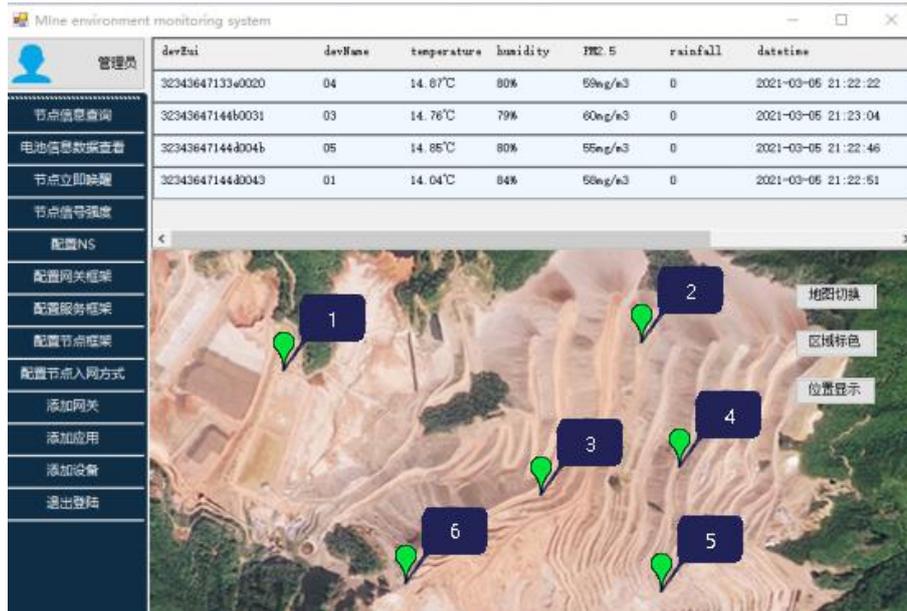


图 4-4 按区域查看传感器参数

展示框选范围内所有节点的数据，进行横向对比，可用于区域分析。借此判断哪块区域是高危地区，哪块地区的灾害潜伏性更大，更应进行重点监管。

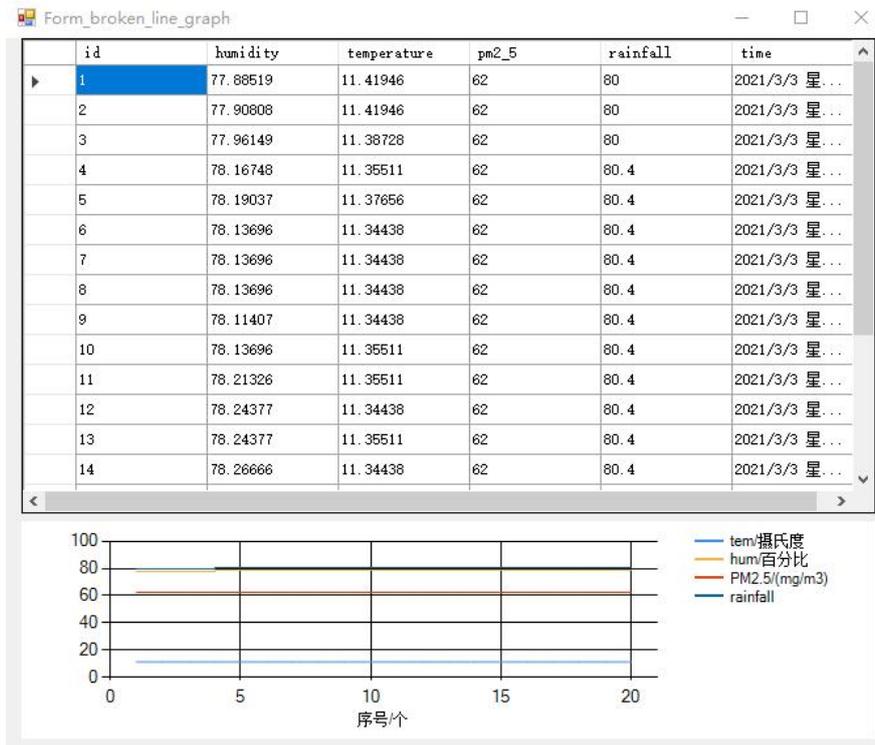


图 4-5 单节点参数变化情况

展示指定节点在一段时间的数据变化情况，进行纵向对比。该数据可用于分析该点的地理环境变化，对较为恶劣的环境做出及时的响应。还可以对未来的参数变化做出预测，对灾变进行及时的预警。

## 5 总结与展望

基于此，本文提出了基于北斗与 WSN 的矿山地质环境监管系统，该系统能有效地监测灾害点的位置变化数据，和传感器节点的环境变化数据。两种监

---

测系统的有机结合,实现了远程实时矿山地质环境监管。为了进一步加强该系统的监管力度,后续还应推出陀螺仪与加速度计传感器,并且考虑如何将多个传感器结合于一体,在野外的环境下能够有效延长节点使用寿命。并且随着北斗卫星定位精度的不断提高,形变监测数据也会越来越准确,越来越有价值。

### 参考文献

- [1] 何原荣.矿区环境高分辨率遥感监测及其信息资源开发利用的方法与应用研究[D].中南大学,2011.
- [2] 孔小云,凌卓,王恒,贾涛.煤矿资源开采引发地质灾害和地面建筑损坏分析及保护措施[J].云南化工,2019,46(12):154-155.
- [3] 詹松辉,王华,周波阳,吴希文.基于大地测量应变率的川滇地区浅源地震预测[J].城市勘测,2021(01):110-114.
- [4] 张敏.近景摄影技术在露天矿山边坡变形监测中的应用初探[J].科技创新与应用,2020(20):171-172.
- [5] 李小玲,胡才源,孙全福,吴齐林.无人机遥感在高山峡谷区崩塌地质调查中的应用[J].地理空间信息,2021,19(01):78-81+124+5.
- [6] 王敏杰.TDR技术在公路边坡监测中的应用试验[J].城市建设理论研究(电子版),2019(01):84.
- [7] 张鑫,潘伟锋,董旭龙,易长春.基于BDS的高边坡地质灾害监测系统建设研究与应用[J].测绘与空间地理信息,2020,43(10):138-141.
- [8] 许威,李鹏辉,盛玉兴,胡阳.滑坡监测方法综述与展望[J].安徽建筑,2020,27(08):92-94+102.
- [9] 李益鸣.无线传感器网络在煤矿安全监测中的应用[J].工程技术研究,2019,4(16):140-141.
- [10] 杨扬.基于LoRa物联网技术的火龙果大棚监控系统的设计与应用[J].计算机测量与控制,2019,27(11):82-85+129.
- [11] 万云,蒋阳.基于LoRa技术的温室群远程监控系统的设计[J].计算机工程与设计,2021,42(02):595-601.
- [12] 李良发.高精度北斗数据处理及地形变监测应用[D].中国地震局地震研究所,2019.
- [13] 皮廷亮,杨志成,赵海往.CORS系统在露天矿测量中的应用研究[J].世界有色金属,2019(12):26-27.
- [14] 杨震.基于一机多天线接收机的GNSS实时精密定位关键技术研究[D].中国矿业大学,2020.
- [15] 张坤.基于LoRa通信的城市路灯智能控制系统的研究[D].山东大学,2018.

---

# 基于北斗的智能牲畜管理系统

作者：杨雪元、于洪辰

指导教师：宋晏

学校：北京科技大学

---

**【摘要】** 随着市场经济的不断发展，我国养殖业得到了较大的发展，这不仅仅能极大地满足人们物质生活的需求，同时还能提高农牧民的经济效益。当前，人们越来越重视食品的绿色健康，这在一定程度上促进了散养牲畜产业的高速发展，与此同时，一些问题也随之而来，例如，牲畜容易丢失，不合群，有时会去祸害庄稼，受到恶劣自然天气的影响会生病等等，我们的北斗+智能生态应用项目，创新性的提出了基于北斗的自发电智能牲畜管理系统。本系统将北斗卫星定位系统，自发电装置，人工智能，无人机技术，物联网技术相互结合，实现了电子栅栏，自发电，恶劣天气预警，牲畜轨迹生成，牲畜受惊报警，无人机应急等功能，力求让农民足不出户进行放牧的同时拥有更高的经济效益。

**【关键词】** 智能放牧，无人机，物联网，人工智能，北斗

**【Abstract】** With the continuous development of the market economy, our country's aquaculture industry has been greatly developed, which can not only greatly meet the needs of people's material life, but also improve the economic benefits of farmers and herdsmen. Nowadays, people are paying more and more attention to the green and healthy food, which has partly facilitated the rapid development of free-range livestock. At the same time, some problems have been incurred.

For instance, livestock out of group are easy to be lost, and sometimes harm crops. They also will be sick due to the impact of severe natural weather. Our project named "BeiDou + intelligent ecological application" has innovatively proposed a self-powered intelligent livestock management system based on BeiDou Navigation Satellite System. This system combines BeiDou satellite positioning system, self-power generation device, artificial intelligence, drone technology, and IOT technology to implement the features of electronic fences, self-power generation, severe weather warning, livestock trajectory generation, livestock frightened alarm, drone emergency and so on. Our project strives to make farmers and herdsmen enjoy higher economic benefits without leaving home while grazing.

**【Key words】** Intelligent grazing, drones, IOT, artificial intelligence, BeiDou Navigation Satellite System(BDS)

---

## 1 背景

传统畜牧依靠纯人工圈养，由于人的精力和能力有限，看养规模和效率都存在无法突破的瓶颈，圈养的肉质往往被人诟病。而放养的肉质更接近野生环境，肉质口感远远在圈养之上，出货价格高，利润大。类似的成功模式有壹号土猪，采用放养和有机饲料，模拟野生养殖，受到市场热烈欢迎。

如今，中国有越来越多的养殖户想要改圈养为散养，但因为多种因素的限制，未能实现，本文希望提出一个基于北斗的智能牲畜管理系统，解决养殖户的问题。

## 2 系统综述

本文致力于提出一个基于北斗的自发电智能牲畜管理系统，实现电子栅栏，自发电，恶劣天气预警，牲畜轨迹生成，牲畜受惊报警，无人机应急等功能，为农牧民带来更高的经济效益。

系统主要有四部分实现：智能项圈，服务器端，用户端和无人机模块。

智能项圈部分用于获取牲畜的状态信息，并将这些信息通过 Zigbee 自组网技术，NB-IOT 技术以及北斗短报文技术发送至服务器。

服务器部分接收来自于智能项圈和用户端的数据，这些数据经过服务器处理之后会生成各种状态信息返回用户端。

用户端用于对服务器进行各种系统设定，并接收经过服务器处理后的牲畜状态信息。

无人机模块接收来自用户端的控制信息，可飞抵牲畜位置向用户端返回牲畜状况信息。

系统总体框图如下：

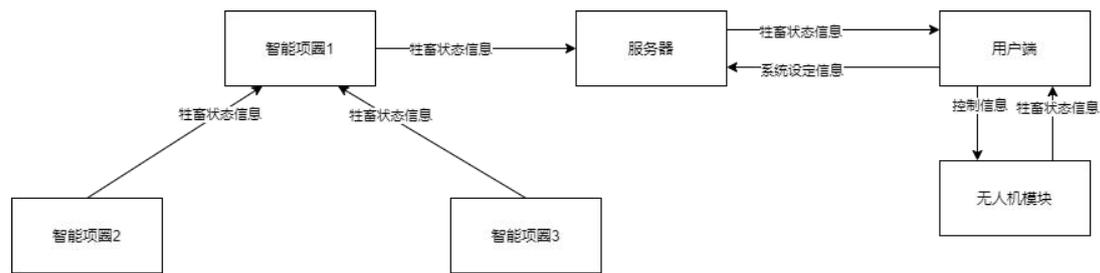


图 2-1 系统总体框图

## 3 硬件组成

### 3.1 主控模块

STM32L0 系列器件实现了五种低功耗模式，采用超低功耗振荡器和电压调节器，可以大大降低单片机的低频功耗。片上模拟功能的最低工作电源电压为 1.8V。数字功能的最低工作电压为 1.65V，在电池电压降低时，可以延长电池供电时间。

本系统采用 STM32L051C8T6 RM 微控制器，以保证控制器在休眠时不会消耗大量电能，完成对于其余各模块的控制。



图 3-1 STM32L051C8T6 RM 微控制器

### 3.2 太阳能发电板锂电池充电模块

太阳能发电板锂电池充电模块可从太阳电池板或其他光伏设备中获取尽可能多的电能，并将电能装入到可充电的锂电池当中。

在本系统中，我们使用 cn30651 发电模块将太阳能转化为电能存储于锂电池当中。

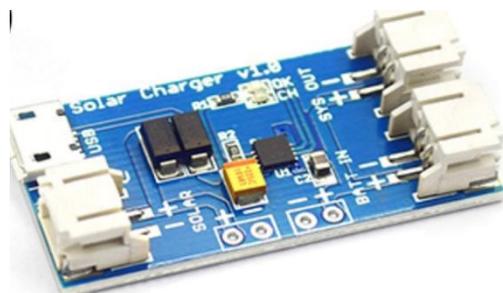


图 3-2 cn30651 太阳能发电模块

### 3.3 北斗定位模块

北斗定位模块可用于实现定位、授时、短报文等功能。

本系统采用 BGM7014 北斗定位模块，其是基于北斗 RDSS 芯片研制而成的北斗通信四合一贴片式模块，模块包括低噪声放大器、功率放大器、射频芯片和基带芯片。BGM7014 采用邮票贴封装，模块体积小、集成度高、功耗低、对外接口非常简单，主要应用于对体积、功耗要求甚高的北斗手持设备。

在本系统中，我们使用 BGM7014 实现对于牲畜的定位，并依托北斗短报文服务向服务器端发送牲畜位置信息。



图 3-3 BGM7014 北斗定位模块

### 3.4 NB-IOT 模块

NB-IOT 领域是一个新兴的技术，支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接，也被叫作低功耗广域网 (LPWAN)。NB-IOT 的待机时间长，可以保证对网络连接要求较高设备的高效连接。NB-IOT 设备电池寿命长，可直接部署于 GSM 网络、UMTS 网络或 LTE 网络，以降低部署成本、实现平滑升级。

本系统采用 M5311 无线通信模组，其是一款高性能低功耗 NB-IOT 无线通信模组，满足中国移动蜂窝物联网通用模组技术规范，具有全球同类产品中最小尺寸。M5311 支持 FOTA、ONENET 协议、支持内置 SIM 芯片，支持 AA 干电池供电，为开发者提供丰富的外部接口和协议栈，用以提供完善的 NB-IOT 数据传输服务。

在本系统中，我们使用 M5311 模块将智能项圈接入广域网。



图 3-4 M5311 无线通信模组

### 3.5 Zigbee 模块

Zigbee 是一项新型的无线通信技术，适用于传输范围短，数据传输速率低的一系列电子元器件设备之间的连接。ZigBee 无线通信技术可与数以千计的微小传感器相互间，依托专门的无线电标准达成相互协调通信的功能，ZigBee 无线通信技术还可应用于小范围的基于无线通信的控制及自动化等领域。

本系统采用美国德州仪器公司进口 cc2530 射频芯片，芯片内部集成 8051 单片机和无线收发器，并适用于 Zigbee 设计及 2.4GHZ IEEE 802.15.4 协议。E18 系列出厂带有 Zigbee 标准自组网协议，用户可对其进行二次开发。

在本系统中，我们使用 cc2530 模块实现智能项圈之间的信息传递。



图 3-5 Zigbee cc2530 射频芯片

### 3.6 振动传感器

振动传感器可将振动信号转为电信号。

LDT0-028K 是一款具有良好柔韧性的传感器，采用 28 $\mu$ m 的压电薄膜，其上丝印银浆电极，薄膜被层压在 0.125mm 聚酯基片上，电极由两个压接端子引出。当压电薄膜在垂直方向受到外力作用偏离中轴线时，会在薄膜上产生很高的应变因而会有高电压输出。当直接作用于产品而使其变形时，LDT0 就可以作为一个柔性开关，所产生的输出足以直接触发 MOSFET 和 CMOS 电路；增加质量块或者改变元件的自由长度都会影响传感器的谐振频率和灵敏度。LDTM-028K 采用悬臂梁结构，一端由端子引出信号，一端固定质量块，是一款能在低频下灵敏度高的振动传感器，配合压点薄膜传感器可以将振动信号转化为不同幅值的电压信号输出，放大倍数可调，响应速度快。

本系统使用 LDT0-028K 检测牲畜是否受惊，当检测到牲畜受惊高速奔跑时，该振动器发出电信号送至 stm32 微处理器。



图 3-6 LDT0-028K 振动传感器

### 3.7 无人机

作为大疆无人机系列的入门首选，Mini 2 便携易用且安全可靠，集轻巧机身与强悍性能于一体。通过将该无人机与北斗卫星定位系统适配，依托大疆无人机自动导航技术，可将无人机一键导航至牲畜位置处查看牲畜位置信息，配合大疆 OcuSync 2.0 图传系统以及人工智能目标检测技术，可将牲畜实时图像信息传递回用户端，方便用户进行查看。



图 3-7 Mini 2 大疆无人机

## 4 相关技术介绍

### 4.1 RSSI 测距技术

本系统使用 RSSI 测距原理结合 Zigbee 模块获取智能项圈间的距离。

先给出关于 RSSI 重要的五个公式：

$$RSSI_i = A - 10n_{A_i} \lg(d_i), i = 1, 2, \dots, n \quad \#(1)$$

$$n_{A_i} = -\frac{RSSI_i - A}{10 \lg(d_i)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \#(2)$$

$$d_i = 10^{\frac{RSSI_i - A}{-10n_{A_i}}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \#(3)$$

$$RSSI = \frac{w_1 RSSI_1 + w_2 RSSI_2 + \dots + w_m RSSI_m}{w_1 + w_2 + \dots + w_m}, m \leq 3 \quad \#(4)$$

目前，无线信号传输中普遍采用 Shadowing 模型，式（1）由射频传播信号空间功率分布引起的衰减推导而来。RSSI 是距离  $d_i$  的对数函数线性模型，该函数近似自由空间 RSSI 衰减模型，通过引入参数考虑了非理想介质特性。

参数  $A$  (dBm) 和  $n_{A_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 是通过试验获得的且取决于无线信号传播环境特性的变量。参数  $A$  (dBm) 是距离  $d$  为 1m 时的 RSSI 值， $n_{A_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 是衰减系数，式（2）和式（3）可由式（1）推出。

为了提高定位系统的精度，在 RSSI 测量过程中采用了补偿滤波器。根据存在于环境中的射频干扰获得一组 RSSI 测量值，通过观察 RSSI 原始值的时间间隔可以获得更准确的 RSSI 值。加权均值滤波器通过等式（4）提供设定值中

最重复的 RSSI 的平均值。在设定值中存在一些不同的 RSSI 值，但仅考虑最重复的值（1~3 个不同的值）。如果有 3 个以上重复的不同值，则设置值的变化太大，可以忽略此设置。式（4）中， $w_i (i = 1, 2, \dots, n)$  是 RSSI 值的重复次数，并且  $RSSI_i (i = 1, 2, \dots, n)$  是 RSSI 重复值。从信号传播条件来看，根据试验设计一个信号电平阈值是必须的，该阈值允许将“好”测量值和“坏”测量值区分开。如果  $w_i$  大于测量值的 70%，则考虑  $RSSI = RSSI_i$ ；如果  $w_1 + w_2$  大于测量值的 80%，则考虑  $m=2$ 。

#### 4.2 基于改进粒子群优化的三点定位法

本系统使用改进粒子群优化的三点定位法，解决未知点定位的问题。

三点定位法研究的问题如下：

已知三个点坐标，现有一个待测点，已知它与三个已知点的距离，求解待测点的坐标，以下图为例：

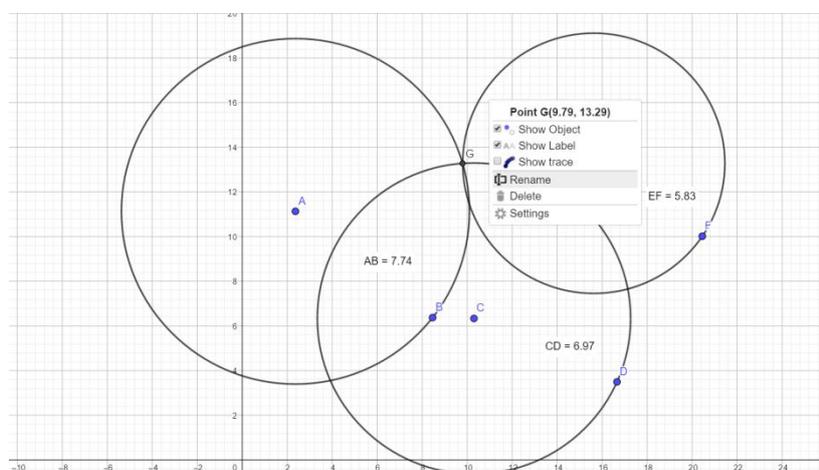


图 4-1 三点定位法演示图

易列出下面的方程组：

$$\begin{bmatrix} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_1^2 \\ r_2^2 \\ r_3^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

系统应用于实际，必须要考虑误差，即三个圆可能不相交于一点，而是围成一片区域。所以引入误差：

$$\left\| \begin{bmatrix} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_1^2 \\ r_2^2 \\ r_3^2 \end{bmatrix} \right\| = \begin{bmatrix} e_1^2 \\ e_2^2 \\ e_3^2 \end{bmatrix}$$

其中， $|(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - r_i^2| = e_i^2$ ，衡量了待测点与已知点之间的实际距离和测量距离的误差，在求解待测点位置时，应尽可能的让  $e_i^2$  更小。利用误差平方和  $e = \sum_{i=1}^3 e_i^2$  来衡量待测点坐标的准确性，为了求  $e$  的最小值，本系统采用粒子群算法。

在二维欧氏空间中随机生成  $M$  个粒子，并设置它们的初始位置：

$$X_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{N-1}),$$

选取的初始位置不宜与三个已知点距离过远，选取合适位置后，得到初始位置的每一维度的取值范围：

$$x_i^D \in [x_{min}^D, x_{max}^D], D = 1, 2, \dots, N - 1$$

设置它们的初始速度以及速度各维取值范围：

$$V_i = (v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{N-1})$$

$$v_i^D \in [v_{min}^D, v_{max}^D], D = 1, 2, \dots, N - 1$$

引用动态的惯性权值，采用非线性的二次曲线下降策略（微分下降策略），容易让粒子在初期扫描全局，在后期收敛到全局最优，同时采用动态的学习因子来优化算法，为了能及时跳出局部最优解，利用模拟退火的思想，以一定的概率接收更差的适应值，改进后的迭代公式为：

$$V_i = \left[ W_{max} - (W_{max} - W_{min}) \left( \frac{ep}{maxEpoch} \right)^2 \right] * V_i$$

$$+ \left[ C_{max} - (C_{max} - C_{min}) \frac{ep}{maxEpoch} \right] [r_1(P_i - X_i) + r_2(P_g - X_i)]$$

通过上述算法，可以得到一个让  $e = \sum_{i=1}^3 e_i^2$  取得最小值的点  $Q$ ，其坐标就是待测点的坐标。

由于粒子群仍是个初值敏感的算法，考虑取平均来减小误差。

增加粒子数对三点定位问题的优化是很明显的，粒子数越多，就会有更多的粒子在取初值的时候直接落在最优解附近，所以收敛速度会非常的快，但是由于粒子数变多，计算量也随之上升。根据多次实验和经验总结，粒子数取 64-128 最为合适，通常在 15-50 轮迭代就可以收敛，得到误差不超过 0.1% 的解。

改进的粒子群算法的代码见（附件/动态权值退火粒子群算法.py）。

下图是粒子群在第 0, 3, 7, 18 轮迭代的效果图：

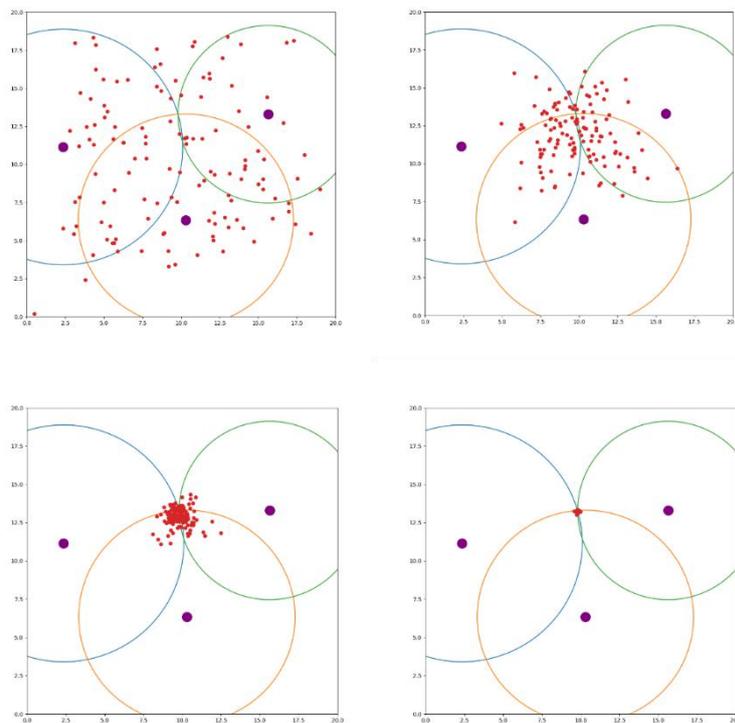


图 4-2 粒子群三点定位法在第 0, 3, 7, 18 轮迭代的效果图

```
0%|
0.06635161276258117
[[ 9.7959295 13.29139473]]
```

图 4-3 粒子群三点定位程序输出的结果

如图 10 和 11, 128 个粒子经过 18 轮迭代就已经几乎收敛于一点, 这个点就是待测点的坐标值。

### 4.3 高斯混合聚类

高斯混合聚类算法旨在将空间中的点, 按照密度和概率等因素划分为不同的类。本系统使用本算法, 来划分牧场中的牲畜群落, 以及对受惊跑散现象进行预警。

如果点的分布可以用类似椭圆球形的形状来划分簇的话, 那么高斯聚类是比较理想的, 高斯分布密度函数为:

$$g(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\sigma|}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \sigma^{-1}(x-\mu)}$$

这个式子的含义是  $x$  事件发生的概率密度, 即点  $x$  在它应在的簇中的概率密度, 对于  $n$  个点  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 它们在应属于的簇内的概率密度可以用所有密度函数的乘积来表示:

$$P(X; \mu, \sigma) = \prod_{i=1}^n g(x_i; \mu, \sigma)$$

本算法的目的是把这些点归属于它们应在的簇内, 即这些点都大概率在它们的簇内, 即让上式取最大值。

用  $\ln$  函数简化计算:

$$\begin{aligned} J(\mu, \sigma) &= \ln(P(X; \mu, \sigma)) = \ln\left(\prod_{i=1}^n g(x_i; \mu, \sigma)\right) = \sum_{i=1}^n \ln(g(x_i; \mu, \sigma)) \\ &= \sum_{i=1}^n \left[-\frac{d}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \ln|\sigma| - \frac{1}{2} (x_i - \mu)^T \sigma^{-1} (x_i - \mu)\right] \\ &= -\frac{nd}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln|\sigma| - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(x_i - \mu)^T \sigma^{-1} (x_i - \mu)] \end{aligned}$$

$J$  对  $\mu, \sigma$  求偏导数:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \mu} &= -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[ \sigma^{-1} \frac{\partial((x_i - \mu)^T (x_i - \mu))}{\partial \mu} \right] = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[ \sigma^{-1} \frac{\partial((x_i - \mu)^T (x_i - \mu))}{\partial (x_i - \mu)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [\sigma^{-1} 2(x_i - \mu)] = \sigma^{-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i - n\mu \right) = 0 \\ &\Leftrightarrow \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ \frac{\partial J}{\partial \sigma} &= -\frac{n}{2} \frac{\partial \ln|\sigma|}{\partial \sigma} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial((x_i - \mu)^T \sigma^{-1} (x_i - \mu))}{\partial \sigma} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{n}{2}\sigma^{-1} - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial \sigma^{-1}}{\partial \sigma} (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T \right) \\
&= -\frac{n}{2}\sigma^{-1} - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^n (\sigma^{-1}\sigma^{-1}(x_i - \mu)(x_i - \mu)^T) = 0 \\
&\Leftrightarrow \sigma = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T
\end{aligned}$$

由于高斯聚类适用于点在类椭圆区域的情况，所以要对其进行改进，引入带有加权的高斯密度函数来优化（下文以三个加权为例）：

$$\begin{aligned}
p(x) &= \alpha_1 g(x; \mu_1, \sigma_1) + \alpha_2 g(x; \mu_2, \sigma_2) + \alpha_3 g(x; \mu_3, \sigma_3) \\
&\text{其中 } \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1
\end{aligned}$$

令  $\sigma = \varsigma^2$ ，则单一高斯密度函数为：

$$g(x; \mu, \varsigma^2) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d \varsigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^T(x-\mu)}{2\varsigma^2}}$$

则所有点在各自簇内的概率为：

$$P(X) = \prod_{i=1}^n p(x_i)$$

则：

$$\begin{aligned}
J(\theta) &= \ln \left[ \prod_{i=1}^n p(x_i) \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \ln p(x_i) = \sum_{i=1}^n \ln [\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \varsigma_1^2) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \varsigma_2^2) + \alpha_3 g(x_i; \mu_3, \varsigma_3^2)]
\end{aligned}$$

利用贝叶斯公式引入符号：

$$\begin{aligned}
\beta_j(x) &= p(j|x) = \frac{p(j \cap x)}{p(x)} = \frac{p(j)p(x|j)}{p(x)} \\
&= \frac{\alpha_j g(x; \mu_j, \varsigma_j^2)}{\alpha_1 g(x; \mu_1, \varsigma_1^2) + \alpha_2 g(x; \mu_2, \varsigma_2^2) + \alpha_3 g(x; \mu_3, \varsigma_3^2)}
\end{aligned}$$

对 J 偏微分（具体计算过程不再给出）：

$$\begin{aligned}
\frac{\partial J(\theta)}{\partial \mu_j} &= \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) \left( \frac{x_i - \mu_j}{\varsigma_j^2} \right) = 0 \\
\frac{\partial J(\theta)}{\partial \varsigma_j} &= \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) \left[ \frac{(x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\varsigma_j^3} - \frac{d}{\varsigma_j} \right] = 0
\end{aligned}$$

得到：

$$\begin{aligned}
\mu_j &= \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)} \\
\varsigma_j^2 &= \frac{1}{d} \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) (x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)}
\end{aligned}$$

以上是 $\mu_j, \varsigma_j$ 让 $J$ 取极值的条件，还有三个未知数待求解： $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 。

使用拉格朗日乘法，构造函数： $J_{new} = J + \lambda(1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3)$ ，则有：

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_{new}}{\partial \alpha_j} &= \frac{1}{\alpha_j} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) - \lambda = 0 \\ &\Leftrightarrow \\ \alpha_1 \lambda &= \sum_{i=1}^n \beta_1(x_i) \\ \alpha_2 \lambda &= \sum_{i=1}^n \beta_2(x_i) \\ \alpha_3 \lambda &= \sum_{i=1}^n \beta_3(x_i) \end{aligned}$$

三个式子相加：

$$\begin{aligned} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \lambda &= \sum_{i=1}^n [\beta_1(x_i) + \beta_2(x_i) + \beta_3(x_i)] \\ &\Leftrightarrow \\ \lambda &= \sum_{i=1}^n 1 = n \\ &\Leftrightarrow \\ \alpha_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i), j = 1, 2, 3 \end{aligned}$$

这些结论都不失一般性，即对于欧式空间中的 $n$ 个点 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，若高斯混合分量有 $k$ 个，则有以下结论：

$$\begin{aligned} \mu_j &= \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)} \\ \varsigma_j^2 &= \frac{1}{d} \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) (x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)} \\ \alpha_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i), j = 1, 2, \dots, k \end{aligned}$$

得到高斯混合聚类算法：

---

**Algorithm 1** 高斯混合聚类算法

---

输入: 样本集  $D = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ( $k$  也是簇的个数)

过程:

- 1: 初始化高斯混合分布的模型参数  $\{(\alpha_j, \mu_j, \sigma_j) | 1 \leq j \leq k\}$
  - 2: **Repeat**
  - 3: **for**  $i = 1, 2, \dots, n$  **do**
  - 4:     计算  $\beta_j(x_i) = \frac{\alpha_j g(x_i; \mu_j, \sigma_j^2)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \sigma_1^2) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \sigma_2^2) + \alpha_3 g(x_i; \mu_3, \sigma_3^2)}$  ( $1 \leq j \leq k$ )
  - 5: **EndFor**
  - 6: **for**  $j = 1, 2, \dots, k$  **do**
  - 7:     根据  $\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)}$ ,  $\sigma_j = \frac{1}{d} \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) (x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)}$ ,  $\alpha_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)$  计算新的  $\mu_j', \sigma_j', \alpha_j'$
  - 8: **EndFor**
  - 9: 更新模型参数
  - 10: **Until** 满足停止条件
  - 11:  $C_i = \emptyset$
  - 12: **for**  $i = 1, 2, \dots, n$  **do**
  - 13:     根据  $l_i = \operatorname{argmax}_{j \in \{1, 2, \dots, k\}} (\beta_j(x_i))$  确定簇标记, 并把  $x_i$  划入  $C_{l_i}$
  - 14: **EndFor**
  - 15: **return** result C
- Output:** 簇划分  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$
- 

图 4-4 高斯混合聚类算法

高斯混合聚类算法代码见 (附件/高斯混合聚类算法.py)。

150 个点划分为六类, 取前 40 轮的结果如下:

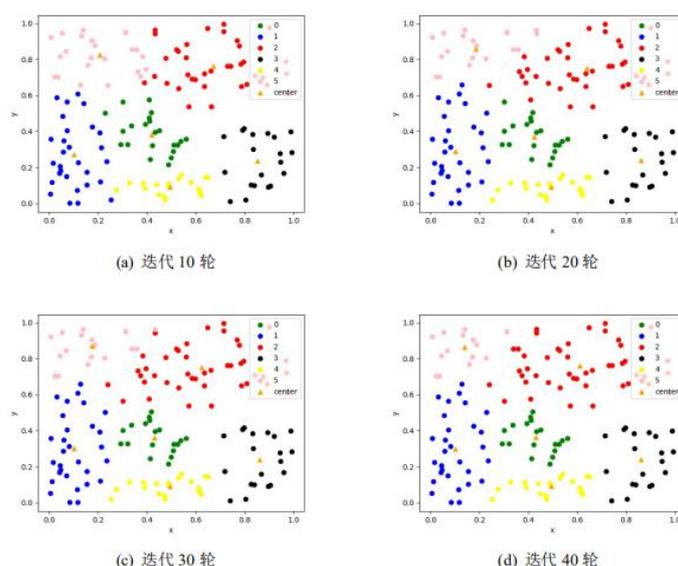


图 4-5 高斯混合聚类 150 点 40 轮模拟结果

可以观察到, 150 个点在空间中被分为了颜色不同的六部分, 可以在一定程度上反映出点的分布。如果我们给这些点在一开始就录入种类信息 (牲畜的品种), 通过遍历每种颜色点集, 查看是否含有异类的点 (牲畜), 就可以检测出“落单”的点。

我们可以通过对比两个时间点的聚类分布, 来反应点是否有“跑散”现象。

#### 4.4 Yolov5 目标检测

本系统使用 Yolov5 目标检测技术结合无人机模块实现对于牲畜生活状况的监测。

---

Yolov5 是当下最流行的目标检测算法。其具有轻量级的巨大优势，相比其他目标检测模型，其体积更小、精度更高、对算力的要求低、适合于嵌入式设备，大大降低了设备的能耗。

Yolov5 目标检测模型训练流程如下：

①下载源码

源码下载如下：<https://github.com/ultralytics/Yolov5>

②下载官方模型（.pt 文件）

③配置虚拟环境

```
创建虚拟环境：conda create -n Yolov5 python==3.7
```

```
进入环境：conda activate Yolov5
```

```
安装所需库：pip install -i https://pypi.tuna.tsinghua.edu.cn/simple -r requirements.txt
```

④准备数据集

数据集使用 kaggle 数据集 包含十种动物：狗，猫，马，大象，蝴蝶，鸡，牛，羊，蜘蛛，松鼠。链接如下：

<https://www.kaggle.com/alessiocorrado99/animals10>

⑤使用 LabelImage 标注数据集

LabelImage 可用于神经网络中训练样本的标签标定，其标注被按照 ImageNet 所使用的 PASCAL VOC 格式存成 XML 文件。

⑥制作 VOC 数据集

由 LabelImage 生成的 xml 文件生成 txt 文件作为 label 标签，每个图像文件对应一个 txt 文件，txt 文件每一行为一个目标的信息，格式为：

类别 xmin xmax ymin ymax

同时生成三个 txt 文件：train.txt，val.txt，test.txt，分别存储所有训练集，验证集，测试集图像的绝对路径。

⑦新建 coco.yaml

```
download: bash data/scripts/get_coco.sh
```

```
train: train.txt
```

```
val: val.txt
```

```
test: test.txt
```

```
nc: 10
```

```
names: ['Dogs', 'cats', 'horses', 'elephants', 'butterflies', 'chickens','cattle', 'sheep', 'spiders','squirrels']
```

⑧模型选择

Yolov5 按大小分为四个模型 Yolov5s、Yolov5m、Yolov5l、Yolov5x，这四个模型的性能表现见下图：

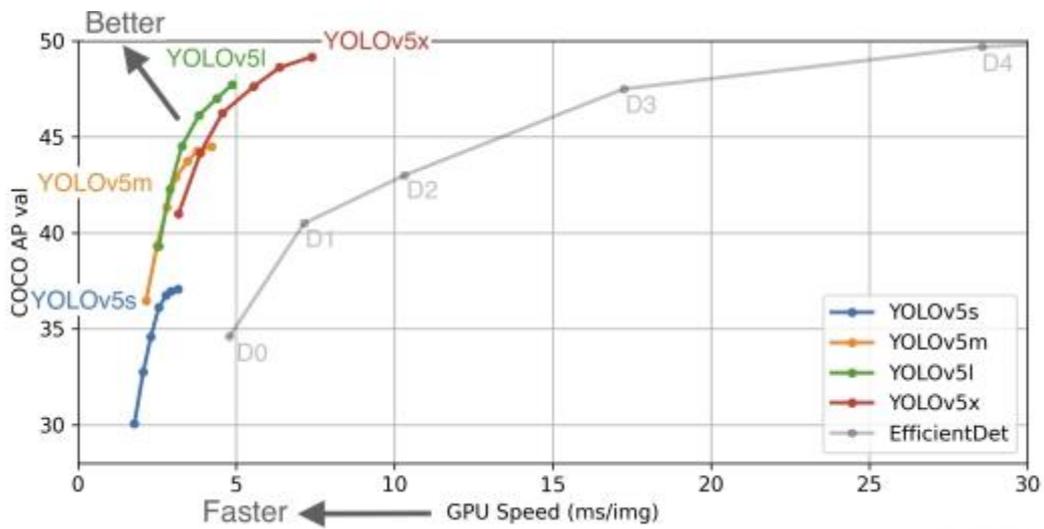


图 4-6 Yolov5s、Yolov5m、Yolov5l、Yolov5x 四个模型的性能表现

上图为基于 5000 张 COCO val2017 图像进行推理时，每张图像的平均端到端时间，batch size = 32, GPU: Tesla V100，这个时间包括图像预处理，FP16 推理，后处理和 NMS（非极大值抑制）。

随着架构的不断增大，每张图片推理时间不断增大，为缓解服务器端压力，我们采用 Yolov5s 模型训练，修改 model 文件夹下的 Yolov5s.yaml 文件，将 nc 改为 10。

Yolov5s 结构图如下：

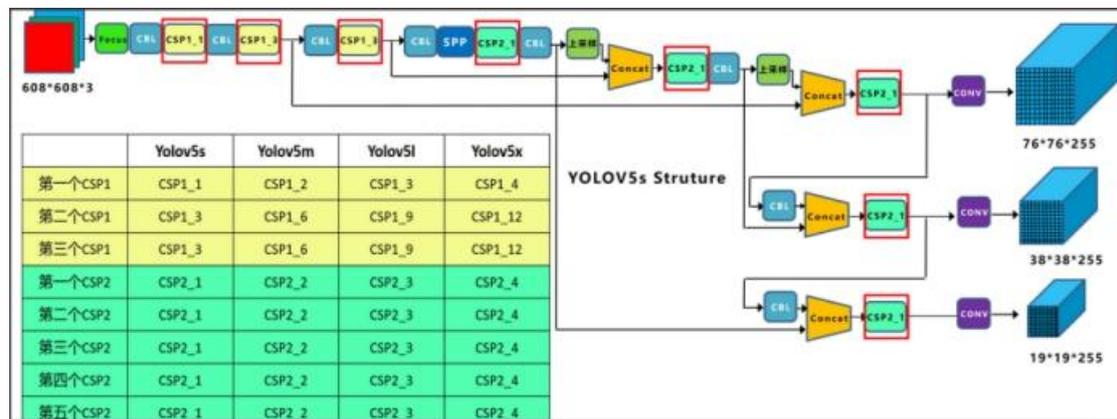


图 4-7 Yolov5s 结构图

随后运行命令即可：

```
python train.py --img 640 --batch 16 --epochs 50 --data ./data/coco.yaml --
cfg ./models/Yolov5s.yaml --weights Yolov5s.pt
```

训练五十轮后结果如下：

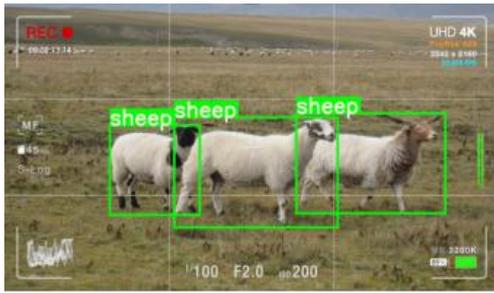


图 4-8 yolov5s 50 轮效果图 1  
训练 50 轮之后训练效果较为良好。

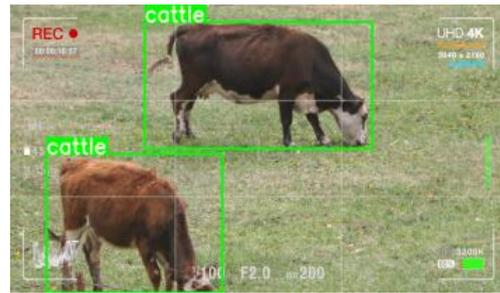


图 4-9 yolov5s 50 轮效果图 2

#### 4.5 根据经纬度获取天气状况

接口地址: [<https://devapi.qweather.com/v7/weather/now>]

返回格式: json

请求方式: get

参数如下:

表 4-1 天气 API 参数表

名称	类型	必填	说明
location string	string	必填	2. 经纬度格式: 经度, 纬度 (经度在前纬度在后, 英文, 分隔, 十进制格式, 北纬东经为正, 南纬西经为负)

## 5 功能方案

### 5.1 牲畜定位

考虑到成本问题, 我们对于用户希望获取每只牲畜的实时位置信息的需求提出了两套解决方案。

#### 方案一

为每只牲畜配备一个智能项圈, 此处我们将一个智能项圈称为一个节点。

节点硬件构成如下, 包括 stm32 微处理器、北斗定位模块、自发电模块、振动模块、NB-IOT 模块、Zigbee 模块:

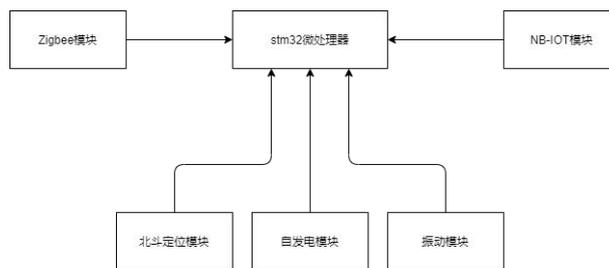


图 5-1 牲畜定位方案一节点硬件构成图

为每个节点赋一个唯一 id, id 号从 000000 开始, 依次递增。

所有节点均可由北斗定位模块获得当前的项圈的位置信息, 后通过 Zigbee 自组网技术将所有节点的位置信息汇集到 id 号为 000000 的节点, 由该节点将所有信息位置传递回服务器端。

流程图如下:

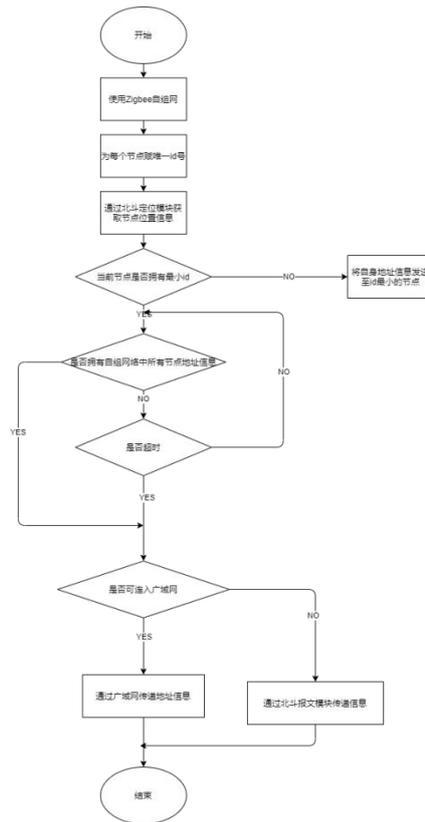


图 5-2 牲畜定位方案一流程图

该方案的优点是能实时获取到所有牲畜的准确位置信息，当某只牲畜与大部队走散时，用户依然可以通过北斗短报文功能、GSM 网络、UMTS 网络、LTE 网络获取到走失牲畜的实时位置，缺点是成本相对较高。

### 方案二

为牲畜群落配备至少三个主智能项圈和多个从智能项圈，此处分别称为主节点和从节点。

主节点硬件构成如下，包括 stm32 微处理器、北斗定位模块、自发电模块、振动模块、NB-IOT 模块、Zigbee 模块：

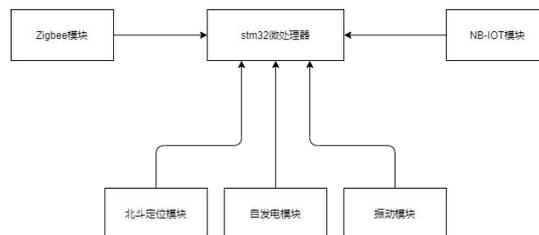


图 5-3 牲畜定位方案二主节点硬件构成图

从节点的硬件构成如下，包括 stm32 微处理器、自发电模块、振动模块、Zigbee 模块：

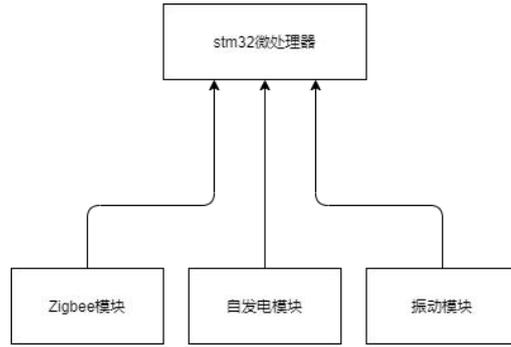


图 5-4 牲畜定位方案二从节点硬件构成图

我们为每个节点赋一个唯一 id，主节点 id 号从 000000 开始，依次递增，从节点 id 号从 100000 开始，依次递增。主节点通过北斗定位模块获得位置信息，从节点通过 Zigbee 无线传感器网络定位技术获取位置信息。其后使用 Zigbee 自组网技术将所有节点的位置信息汇集到 id 号为 000000 的主节点，由该主节点将信息传递回服务器端。

流程图如下：

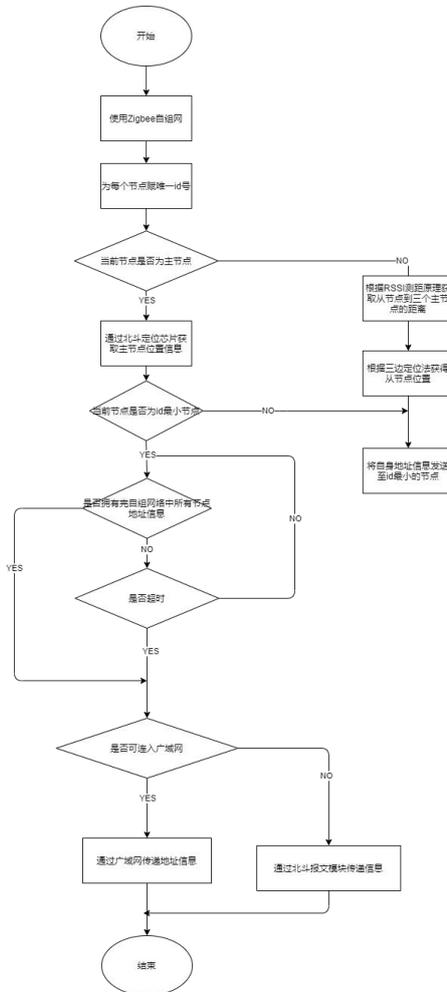


图 5-5 牲畜定位方案二流程图

该方案优点是通过 Zigbee 模块测定从智能项圈位置，成本较低，但定位不够准确，且无法获得失联从节点位置信息。

## 5.2 轨迹生成

针对上文牲畜定位的两种方案，牲畜轨迹生成功能给出两种不同实现。

### 方案一：描绘每一个节点的轨迹

配合上文牲畜定位的方案一，服务器端根据北斗芯片返回的各节点的精确地址信息，描绘每一个节点的轨迹图，并将轨迹图发送至用户端。

### 方案二：描绘分组的轨迹

配合上文牲畜定位的方案二，取两个极近的时间点  $t_0$ ,  $t_1$ ，从服务器获取通过三点定位法得到的位置信息，对所有节点做聚类，得到  $t_0$ ,  $t_1$  的两个聚类结果，每个结果都包含若干个分组信息。

对每个结果，统计每个分组中节点的数量，取节点数量最多的一个分组的中心点作为轨迹生成的参考点。

下面左图表示的就是在  $t$  时间 ( $t$  很小) 内位置的变化，连接两个时间点的分组中心，生成线段，将之作为  $t$  时间内一个分组的轨迹。

具体流程如下右图所示：

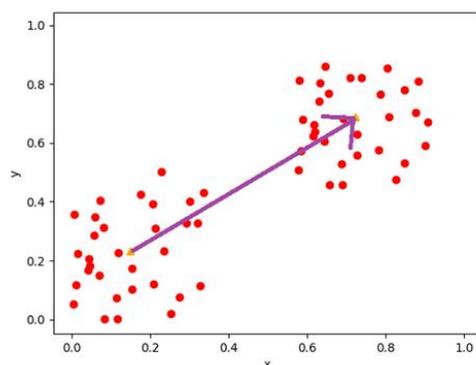


图 5-6 轨迹生成方案二模拟演示图



图 5-7 轨迹生成方案二流程图

### 5.3 跑散预警

牲畜在散养的过程中有可能会跑散的情况，给用户带来不必要的损失，针对这一问题，系统会根据智能项圈所提供的信息，调用高斯混合聚类算法，在服务器端生成跑散报警信息并将之发送至用户端。

首先对所有节点根据地址信息进行聚类，得到若干个分组。当出现以下三种情况时，则认为节点“跑散”：

情况一：当某些分组中的节点的数目小于某个阈值，则认为它们是“跑散”的。

情况二：当所有分组中节点的数目相近时，采用相似度分析方法来判断节点是否“跑散”。

情况三：当某节点位置长时间不更新时，则认为该节点“跑散”。

情况一的实现直接依靠高斯混合聚类算法得出每个分组的节点数进行判断，情况三的实现依托于硬件，情况二的实现如下：

具体流程图如下面左图：

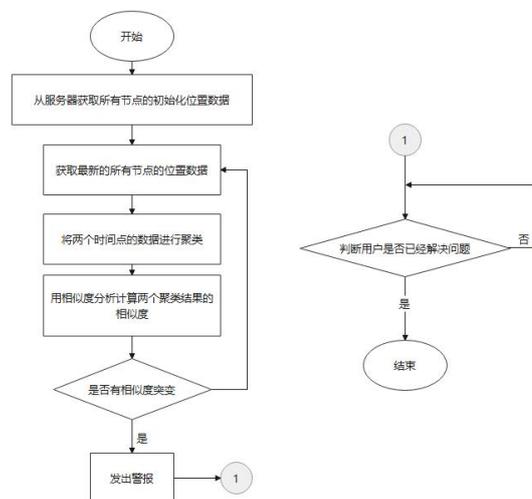


图 5-8 跑散预警流程图

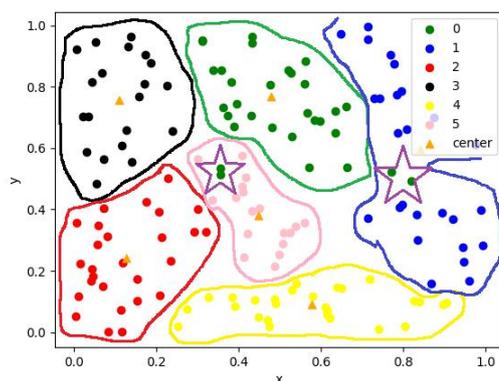


图 5-9 跑散预警模拟示例图

相似度分析如下：从旧的聚类分组数据中任选两个属于同分组的节点，观察在新的聚类分组中它们是否仍在一个分组中，统计所有不再属于同一分组的节点对数目，以此衡量相似度。当相似度大于某个阈值，则认为节点是跑散的，反之，则认为没有跑散。

上面右图反映了一个例子，假设某牧场中有多个种群，且同种群具有扎堆现象，牧场内部根据种群不同形成多个分组（如上面右图不同颜色点所示）。当牲畜从一个分组跑到另一个分组时，势必会引起相似度的突变，这种突变体现在二阶导数的值从低点突然跃升至高点。

#### 5.4 电子栅栏

用户可在用户端上设定电子栅栏后将电子栅栏信息传递到服务器，当服务器端发现传回的地址超出电子栅栏所划定的范围时，会向用户端发出警报。

流程图如下：

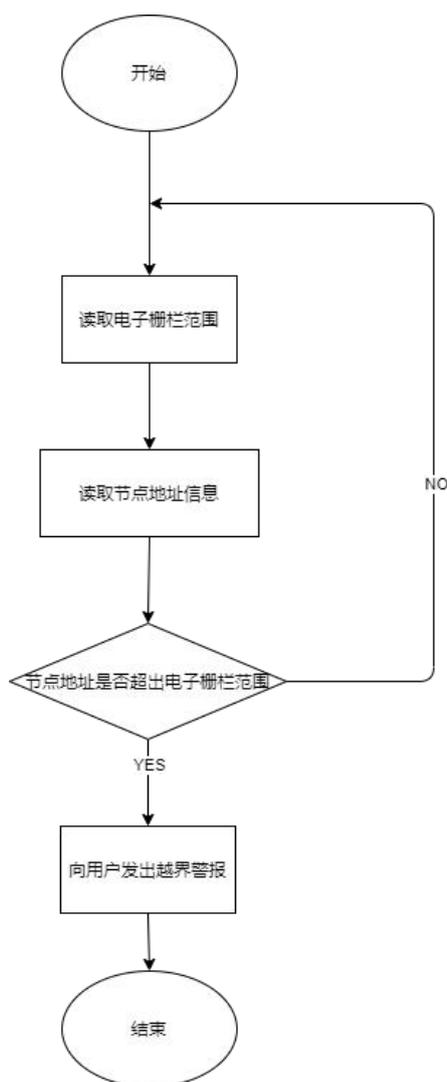


图 5-10 电子栅栏流程图

#### 5.5 牛羊受惊报警

首先使用 Zigbee 模块实现自组网，对于网络中的每个节点，赋一个唯一 id，id 号从 000000 开始，依次递增。每个节点都配备了振动传感器，该传感器在检测到较大幅度振动时，会向 stm32 处理器发出信号，信号通过 Zigbee 自组网模块传递至 id 为 000000 的节点，若该节点可连通广域网或配备有北斗定位芯片，则可将信号传递至服务器，后由服务器传递至用户端，提醒用户查看牲畜状态。

具体流程如下：

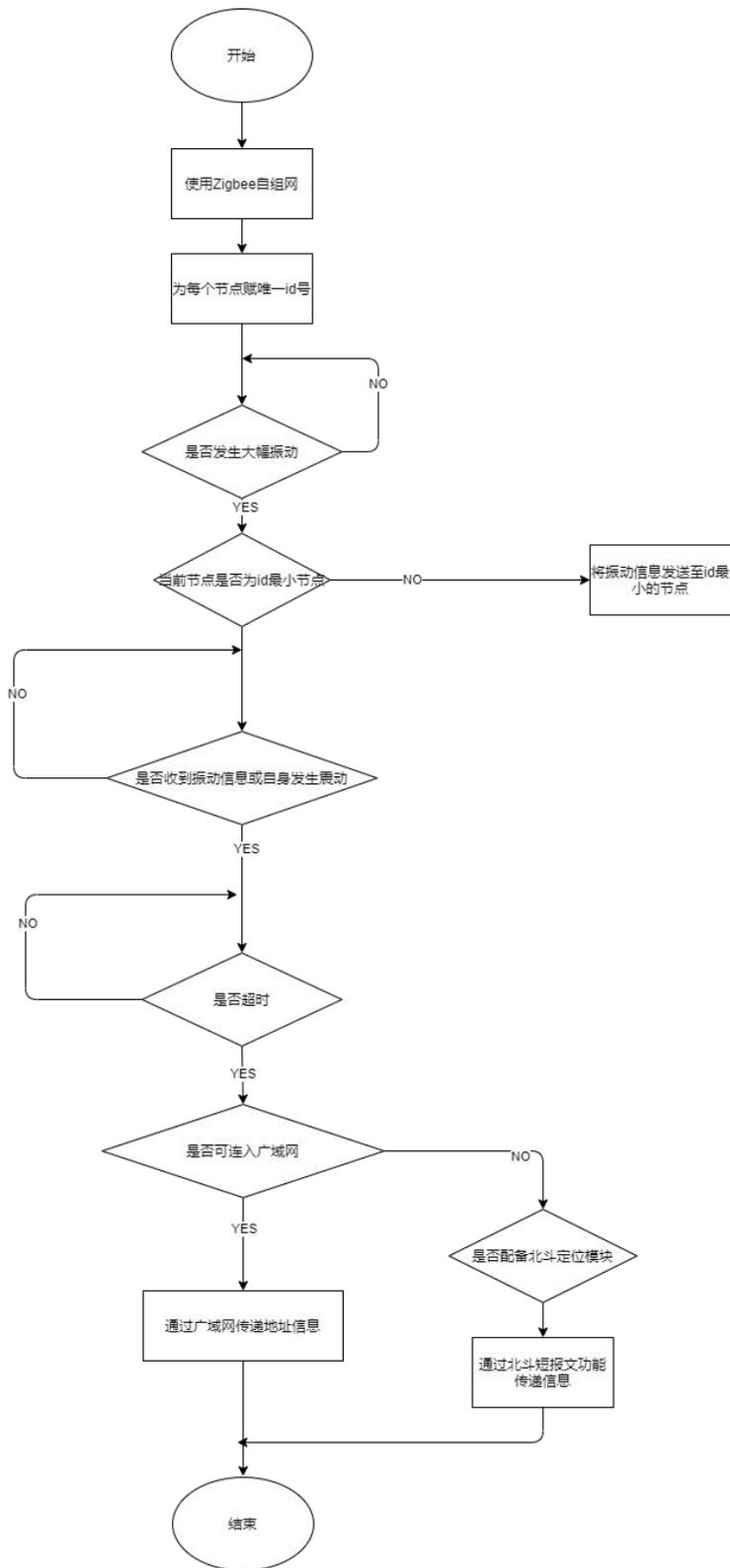


图 5-11 牛羊受惊报警流程图

### 5.6 无人机查看牲畜状况

当用户想要查看牲畜状况时，可依托于大疆无人机的一键导航功能将无人机自动导航至牲畜附近处，配合人工智能目标检测技术，用户可以迅速锁定牲畜位置对牲畜进行查看。

---

## 5.7 天气预警

服务器端根据牲畜位置信息通过调用实况天气 api 获取未来牲畜位置处的天气预报。

## 5.8 牲畜位置预测

服务器根据以往牲畜轨迹图，结合人工智能大数据分析技术，预测当前走失牲畜可能位置。

# 6 使用场景

## 6.1 应用场景 1

用户在手机 APP 上设定电子栅栏后，当牲畜定位超出电子栅栏，服务器端会发送警报到手机的用户端，随后，用户可实时查看牲畜位置并在软件中设置播报牲畜位置的频率。

## 6.2 应用场景 2

服务器端会实时获取天气数据，并将数据传回用户端，作为用户是否放牧的参考。当未来有大风，暴雨等恶劣天气时，会向客户端及时发送信息，提醒用户将牲畜转移至安全地带。

## 6.3 应用场景 3

当用户想要了解牲畜的生活状况时，传统的方式是深入大山、平原寻找牲畜的踪迹，进行实地调查，费时费力，而我们推出的北斗+智能生态应用项目，可派遣无人机配合 Yolov5 目标检测技术对牲畜图像进行识别，并将牲畜生活状况实时传输回客户端。

## 6.4 应用场景 4

当牲畜受惊时，振动传感器发出警报，信息经由北斗卫星或广域网传递到服务器端，后由服务器端传递到用户端，提醒用户关注牲畜情况。

## 6.5 应用场景 5

当有牲畜跑散时，服务器端向用户发出警报，并向用户端传输跑散牲畜位置（仅限于跑散牲畜搭载了北斗定位系统芯片）。

## 6.6 应用场景 6

用户可根据储存在服务器当中的位置信息一键绘制针对每只牲畜的轨迹图，每只牲畜，从出生开始就会被全程记录，形成一个档案，实现食品安全的跟踪与追溯。

# 7 应用展望

该系统可用于解决在放养过程中放牧人员无法实时了解牲畜活动情况的相关问题，且造价低廉，易于被农牧民接受，使得农牧民足不出户进行放牧的同时拥有了更高的经济效益。

宠物以及老人的防丢失任务，进一步扩展了该系统的可用性，配合北斗卫星以及我们的改良的定位技术，可以实时获取宠物以及老人的位置，并可以结合人工智能做出智能化的提醒。

随着人类社会的发展，动物的物种由此灭绝的速度加快，不少珍稀动物濒临灭绝，对于野生动物的保护已迫在眉睫。我们所提出的北斗+智能生态应用系统稍作更改后可用于对濒危物种的区域定位和跟踪以及实时状态采集，以此促进野生动物的保护工作。

---

### 参考文献

- [1] 吴志森,吕晓磊.基于 RSSI 和 LNSM 的 ZigBee 网络距离估计研究[J].新乡学院学报,2020,37(03):27-31.
- [2] 高雁.基于 ZigBee 技术的无线传感网络定位系统的研究[D].南京邮电大学,2019.
- [3] 徐林,傅成华.基于 ZigBee 的三边测量算法误差研究及改进[J].微型机与应用,2012,31(21):68-70.
- [5] 邓祺盛,邢玉虎,刘旭,翟家兴.基于 STM32 单片机的宠物智能项圈设计[J].计算机产品与流通,2019(05):85.
- [6] 周志华.《机器学习》[M].清华大学出版社:北京,2016:206-210.
- [7] 徐仲等.《矩阵论简明教程 第3版》[M].科学出版社:北京,2014:74-78.
- [8] 方开泰.聚类分析[M].北京:地质出版社,1982.
- [9] 史佳昕.基于自然邻居的谱聚类和离群检测算法研究[D].2019.

---

## 摆摊吧—基于北斗定位与 GIS 的智慧摆摊管理系统

作者：赵璋、汪燕、王明利、杨贵喜

指导教师：吴小娟、柳锦宝

学校：成都信息工程大学

---

**【摘要】**：在常态化疫情防控与经济发展双车道的背景下，多地为地摊经济进行“松绑”，引发了全民参与地摊经济热潮。但许多问题也暴露出来，如随意占道经营、摊位哄抢、地摊管理效率低下等。本项目旨在通过北斗卫星结合多项技术解决当前地摊行业诸多问题。其主要由硬件与软件组成：硬件装置基于 STM32F 开发的具有精准定位、轨迹查询、电子围栏功能的摊位定位装置，软件根据使用对象分为：后台规划管理摊位人员使用的具有摊位规划与管理功能的智慧管理平台、城市管理执法人员使用的巡查采集问题 APP；摆摊商家使用的选摊定位显示 APP；消费者使用的查阅、反馈信息 APP，项目将消费者、摊位商家、城市管理人员三个市场重要对象有机融合形成相互协调、反馈、监管的三位一体式管理形式。其项目应用场景广泛，不仅可适用于地摊市场，还可以进行多场景应用如特色古镇、农贸市场、古玩市场等等。

**【关键词】**：北斗卫星导航系统、GNSS、边缘计算、伪卫星、滑坡监测

**【Abstract】** In the context of normal epidemic prevention and control and economic development, many places have "untied" the land sharing economy, triggering a boom of the whole people participating in the land sharing economy. But a lot of problems are also exposed, such as random occupation of road management, booth scramble, stall management efficiency is low. This project aims to solve many problems in the current market by combining BeiDou satellite with various technologies. It is mainly composed of hardware and software, hardware device has accurate positioning, and based on STM32F development trajectory function of the query, electronic enclosures booth positioning device, the software based on using the object is divided into: background planning management booth staff to use the wisdom with booth planning and management functions of management platform, the urban management law enforcement patrol acquisition problems APP; The selected booth positioning display APP used by vendors; The project organically integrates three important market objects, namely consumers, stall merchants and city managers, into a trinity management form of mutual coordination, feedback and supervision. The project has a wide range of application scenarios, not only can be applied to the market, but also can be used in multiple scenarios such as featured ancient towns, farmers' markets, antique markets and so on.

**【Key words】** Squatter communities Beidou positioning Planning and Management GIS

---

# 1 背景及意义

## 1.1 研究背景

地摊经济属于城市经济中的一种边缘经济，因其具有创业门槛低、失败风险低、商品价格低等特点，在上世纪八九十年代与金融危机时期，地摊经济曾为解决我国失业问题、缓解就业压力发挥了不小的作用。

突如其来的新冠疫情对我国经济发展造成重大冲击，经济下行压力增大，给居民的生活和就业带来了极大的困扰，失业人数增加，就业形势严峻。恰逢其时，习近平总书记在 2020 年全国“两会”期间强调保就业、保民生，做好“六稳”工作、落实“六保”非常重要；李克强总理在回答记者题时也提到“地摊经济是人间的烟火”、“以流动摊位带动就业”；全国人大代表杨宝玲建议在加强规范城市管理的同时，因地制宜，释放地摊经济的最大活力<sup>0</sup>。许多城市松绑了对地摊经济的限制，引发了全民参与地摊经济的热潮，于此同时诸多问题也暴露了出来：（1）摊位随意占道经营现象严重，一些地摊产生的噪音、油烟等污染对交通运输、居民正常生活、行政办公产生严重影响；（2）摊位哄抢现象严重，且由于没有相关明确的规定导致摊位内部交易，摊位租用价格被哄抬数倍；（3）管理地摊方式较为落后，依赖于传统的人工巡视、口头教育，工作效率与效率低下；（4）消费者权利难以得到实质性的保障，且找到维护权利的渠道比较困难等等。

十四五规划中强调，该时期必须坚持新发展理念，充分发挥经济增长的潜力。在质量效益明显提升的基础之上实现经济持续健康发展，要“保留人间的烟火”，就需要引入现代化的规划与管理思想技术来规范行业的秩序。因此，设计出一款智能管理系统是极为必要的。



图 1-1 国务院总理李克强点赞地摊经济

## 1.2 研究意义

本项目为解决当前地摊规划与管理中遇到的诸多问题，运用北斗定位、GIS、物联网等多项技术，通过自主设计与开发出的摆摊吧 APP 与摆摊吧管理系统，提高了对地摊规划与管理的智能化和精准化水平，实现对地摊行业的多维度动态监管。项目利用北斗卫星提供的高精度、高可靠性的定位导航功能，

利用 GIS 进行摊位规划与路径优化，结合大数据、识别、可视化等技术满足城市管理执法者、摊位商家、消费者的功能需求。

随着城市智能化管理建设的推进以及各行各业的转型升级，地摊行业的规划与管理水平也要与时俱进。本项目所提出的城市地摊解决方案可以使得地摊市场秩序更加规范化、标准化；同时更加规范与健康的地摊行业将会吸引更多的人关注与参与其中。因此，该项目不仅深入优化了北斗卫星的功能，并且推动了地摊行业的发展。

## 2 产品与方案介绍

### 2.1 系统结构设计

本项目系统方案设计由北斗定位系统、物联网系统、定位装置、终端显示组成，设计了如图 2-1 所示的系统总体架构。其中定位装置支持卫星和基站的定位以增加定位的准确性，实现摊位的定位信息的远程采集与发送，阿里云物联网平台实现摊位定位装置与用户端的数据与信息交互，电脑与手机终端则为用户提供信息与管理。



图 2-1 摆摊吧总体架构示意图

### 2.2 功能设计

摆摊吧智慧管理系统的主要由硬件与软件组成：硬件装置为摊位定位装置，软件根据使用对象分为：后台规划管理摊位人员使用的智慧管理平台、城市管理执法人员的设计的巡查采集问题 APP；摆摊商家使用的选摊定位 APP；消费者使用的查阅、反馈信息 APP。摊位定位装置具有精准定位、轨迹查询、电子围栏、震动报警、防拆报警等功能。智慧管理平台是一个集成摊位规划、摊位商家监管、信息处理与管理、设备信息管理等功能的平台，具有统筹管理的作用。巡查人员 APP 主要是为城市管理执法人员进行摊位问题采集、巡查路径规划、摊位问题处理，以节省城市管理执法人员的时间、提高工作效率。摆

摊商家 APP 主要为商家提供可摆摊位置地图查阅、预约、导航等功能，帮助商家快速找到符合心意的摊位，同时提醒商家进行合理规范的经营经营活动。消费者使用的 APP 主要是为消费者显示可进行消费的摊位，同时消费者可进行摊位评论与摊位商家举报以此来维护、保障消费者自身的权利。

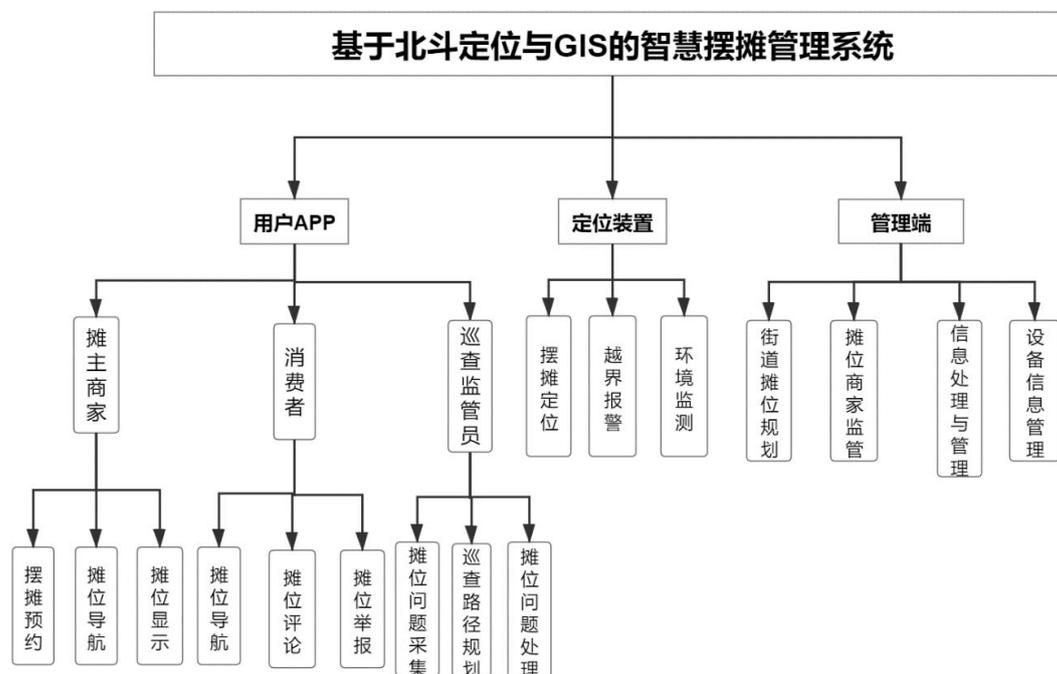


图 2-2 智慧摆摊管理系统功能设计

### 2.3 管理端开发

摆摊吧管理端采用 C/S 架构，数据库平台为 Oracle 12C，开发平台选择 Microsoft Visual Studio2019、IDEA、Unity，GIS 平台主要采用 ArcGIS Server 10.1。主要开发语言包含 Java、C#，开发框架包含 SpringBoot、MVC。该系统结合 GIS 技术、摊位识别、大数据等技术实现商家摊位智能化规划与管理，信息化管理平台的搭建，系统开发采用前后端分离技术。

前端页面运用 Unity2D 引擎的 UI 系统，事件系统，结合 C#高级编程技术完成页面的显示。系统主要包含用户登录、注册审核、摊位管理、权限设置等模块。

后端主要采用 Java SpringBoot 框架实现，采用微服务分布式架构，通过远程访问协议进行通讯，服务消费者连接服务并发送请求。数据库使用 Oracle, Druid 连接池，支持多数据源，MyBatis 执行 CRUD 操作，用 LogBack 记录应用日志，使用 Spring Security 实现资源权限管理，实现前后端分离，提供 REST 风格的接口。

### 2.4 用户端开发

用户端基于 IntelliJ IDEA 进行开发，采用 UI Flutter 框架，使用自带 UI 组件和渲染器，仅依赖系统提供的 Canvas，通过自建绘制引擎，实现高性能、高保真地进行 Android 和 IOS 跨平台开发，通过 Microsoft VS Code 平台开发和调试。

人脸识别模块，采用百度人脸采集 SDK 和 baidu\_face\_plugin 实现对人脸信息的采集和识别；地图模块采用百度地图 flutter 插件，其为一套应用程序接

口，可构建功能丰富、交互性强的地图应用。通过注册申请百度 API 的 AK 密钥，根据开发文档和项目需求进行配置文件，使用相应的接口来实现网络绘制地图、定位坐标、自定义地图瓦片等功能。

## 2.5 北斗差分定位

北斗卫星导航系统（简称 BDS），它是由中国自行研制的一个全球性卫星导航系统，BDS 的空间计划包括 35 颗卫星。现在 BDS 已经覆盖全球，可为全球用户提供全天实时的定位、导航和授时服务<sup>0</sup>。由于直接由 BDS 得到的定位精度级别只有十米左右，不足以满足项目精度需求，所以需要对其进行差分定位。差分定位是在基于基准站接收机位置精确的条件下，计算得到卫星与基准站间的实际几何距离。将基准站接收机和卫星间的距离测量值与实际距离相比较，两者之差即为基准站接收机对该卫星存在的测量误差。在同一时间与地域内，其他接收机与该基准站的测量误差存在相关或相似关系。利用基准站的测量误差通过发射电台传输给用户使用的定位装置，定位装置即可利用该数据对同一卫星距离测量值进行改正，减小误差，从而达到提高定位装置精度的目的<sup>00</sup>。

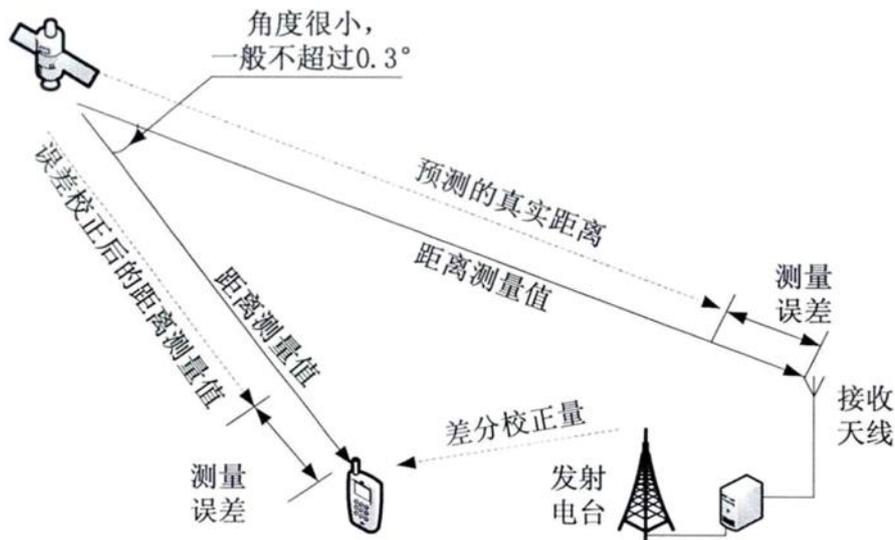


图 2-3 差分定位原理

## 2.6 问题采集

巡查人员发现街道摊位环境、商品质量、摊位摆放等问题不符合规定等情况时，通过 APP 对摊位问题进行采集。采集信息包括摊位编号、精准定位（通过北斗卫星获取）、摊位整体情况（拍照取证）、设备信息、摊位问题描述等，信息上报过程需要管理人员进行审核，当审核通过之后才能进入数据库。信息上报的主要过程是：首先通过手机用户端的北斗定位模块获取当前地理位置信息，再选择或者输入问题信息，并进行拍照取证，点击上传之后先传至服务器，服务器会对接收到的信息进行解码、转码，待审核通过之后便可以存入系统数据库之中，便于之后对问题进行复查与处理<sup>0</sup>。

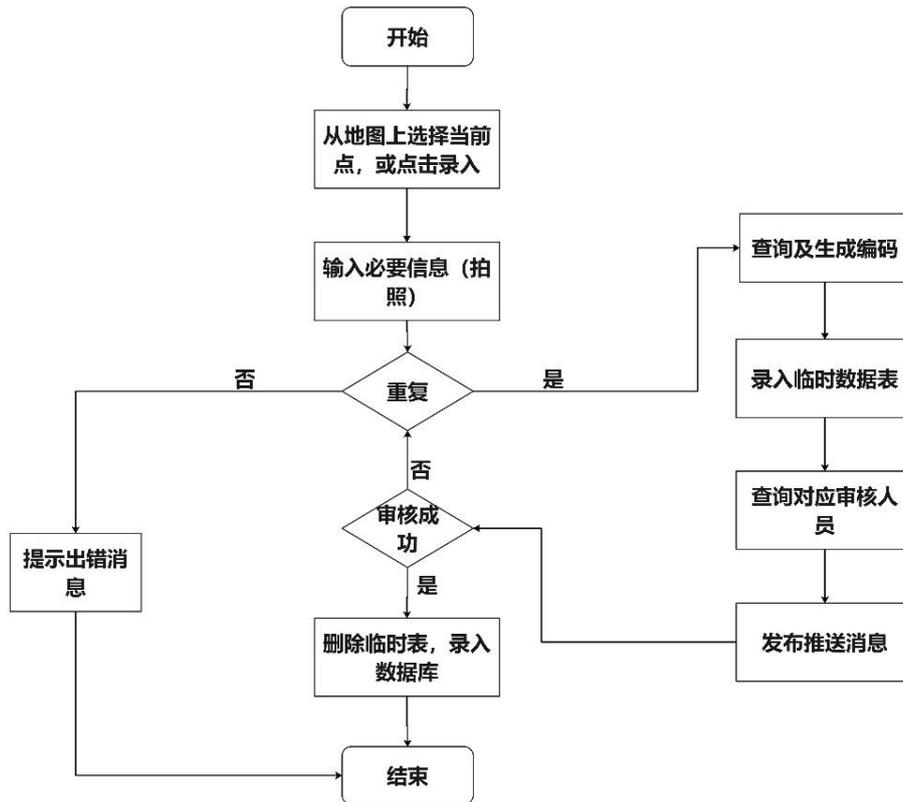


图 2-4 摊位问题上报流程

## 2.7 摊位底图绘制

商家地图摊位建模采用全站仪测量点位和 GIS 软件建模成图。

### (1) 全站仪采集点位信息

使用宾得 PENTAX R-2502N 高精度 2 秒全站仪对摊位进行测量，测量商家摊位分化范围及周边城市用地情况，得到主要点位的坐标信息。测量点位包含多个已知控制点，以便于坐标推算与现有城市地形图的匹配。



图 2-5 宾得 PENTAX R-2502N 高精度 2 秒全站仪

### (2) 街道摊位底图绘制

得到全站仪测量采集的数据，并使用 Arcgis 软件进行绘制

1. 获取基础影像图：Bigemap 地图中下载基础影像：矩形选择→地图级别选择→瓦片下载→地图拼接；

2. 建筑物覆盖区域图建造：将 Bigemap 获取的目标区域地图影像后导入 Arcgis 中初始化加载，在属性中查看坐标系，目录窗口下新建 shape file，选择 polygon，定义与影像图层一致的坐标系，开始编辑，构造图层面要素，当所有要素构造完成，即可得到研究区域的建筑物覆盖区域图。

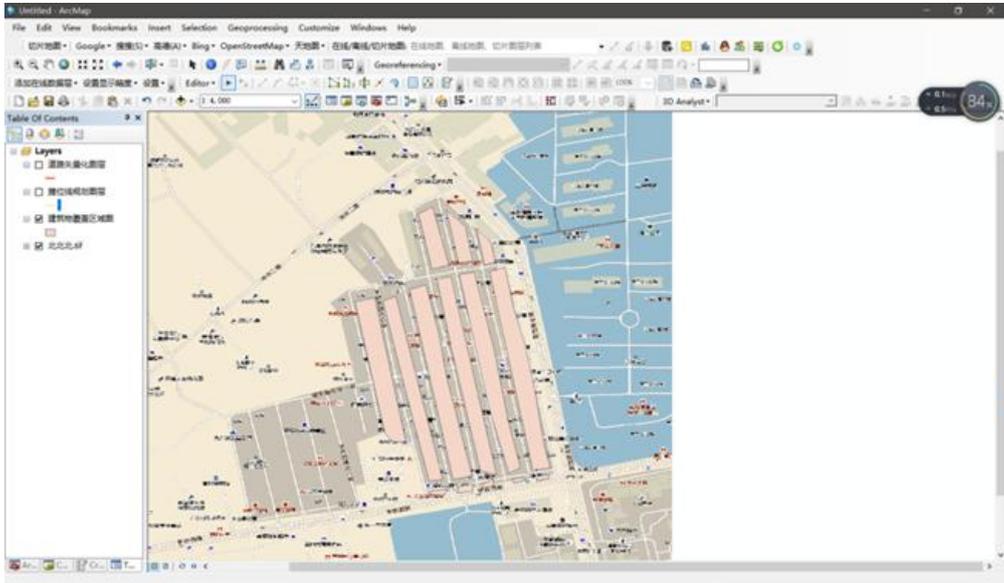


图 2-6 建筑物覆盖区域图

### (3) 道路矢量化图层

新建线图层，定义坐标系，利用 editor 工具进行编辑，对影像所有道路进行矢量化，最终得到目标图层，如图 2-7。

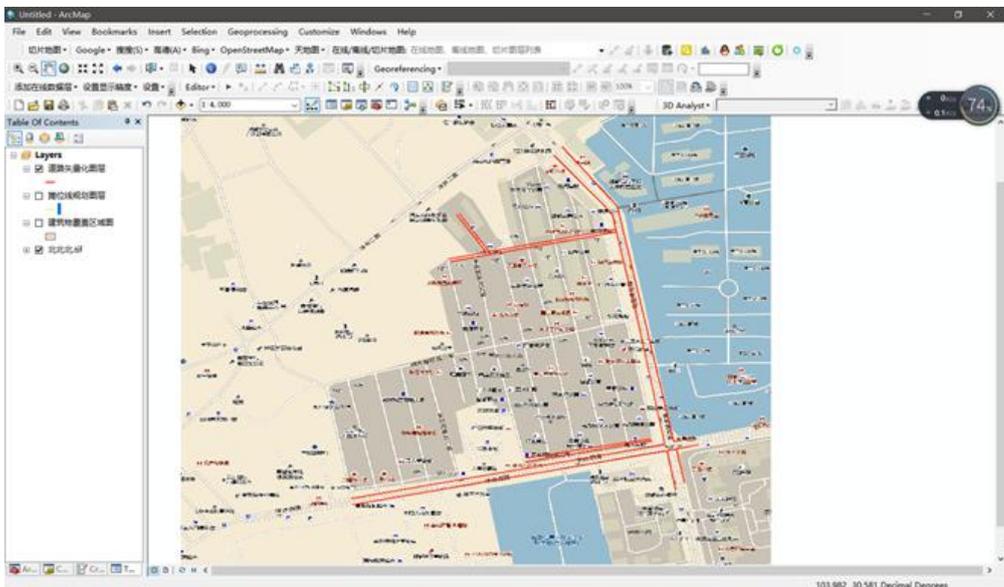


图 2-7 道路矢量化图层

### (4) 摊位线规划图层

新建 shape file，选择 polyline，一致化坐标系，在前期基础上按要求利用 create features 工具划定摊位边界线，在符号系统进行要素设计，最终得到摊位线规划图层；

### (5) 叠加目标图层

利用 insert 中文字工具对研究区域的道路进行道路名标注并调整位置，设计各图层显示样式，最后将所有绘制好的图层进行叠加。

## 2.8 核心功能算法设计

### 2.8.1 路径规划

在实际的城市管理者进行问题巡查时，往往先进行区域内的整体巡查，记录出各街道的问题与位置，再通过隔段时间复查的形式进行管理，而定点复查的时候往往依靠经验进行路线规划，不能够快速地规划出最短的巡查路线，造成了一定的资源浪费，且在街道情况中遇到紧急的情况需要管理者进行处理，也需要一种快速规划最短路线的方法。

在众多的最短路径规划算法中，Dijkstra 算法是被广泛运用于各种场景，但传统的 Dijkstra 算法无法求得历经多个待选节点的最短路径，且算法消耗时间较长、效率低下，严重浪费了计算机资源。因此本项目采用改进 Dijkstra 算法来进行最短路径规划，利用贪心理论，将原规划问题拆分为几个易于用 Dijkstra 算法求解距离的子问题，先通过分别对子问题进行求得局部最短距离后，最后求得原问题的全局最短路径。如图 2-8 求得 A 到 I 之间的对端路径，在 A 于 I 之间连接一条虚线，比较 A 周围的连接点和此虚线的夹角，取夹角最小的连线作为下一条路线，按夹角的从大到小依次放入存放等待经过的节点栈中，此图中 AD 与 AI 夹角最小，则用 D 代替 A，再链接 I，重复上述方法，便能在较短的时间内下找出一条从 A 到 I 的最短路径<sup>0</sup>。

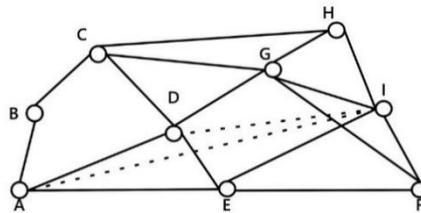


图 2-8 改进算法示意图

利用上述优化 Dijkstra 算法和贪心理论将要求解的最短路径拆分成三部分，即分别优化 Dijkstra 算法求解起点到中间节点最短路径，终点到中间节点最短路径，中间节点之间的最短路径，最终组成全局最短路径，再通过需求甄选目标线路，具体流程如图 2-9 所示。

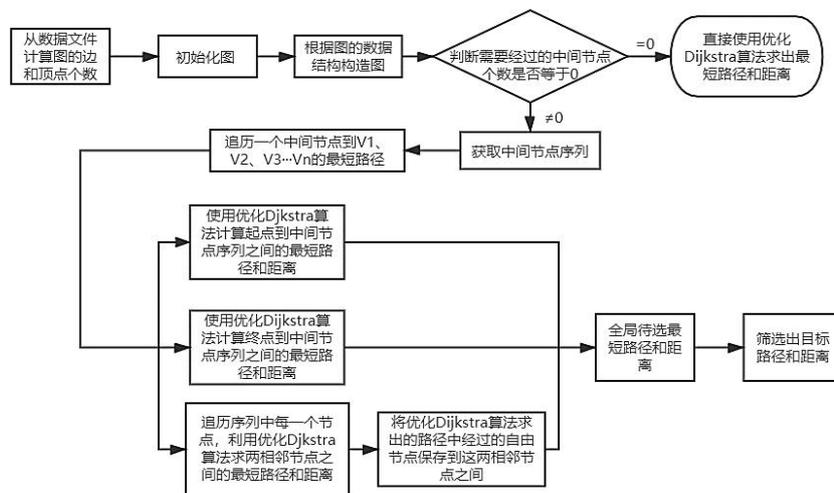


图 2-9 算法流程

## 2.8.2 摊位识别

传统的街道摊位视频监控严重依赖人力，大量未经处理的原始视频，需要管理者全天候进行分析，不仅劳动强度大、人力成本也高。本项目运用摊位识别技术可以实现对道路监控范围内存在的摊贩进行自动识别取证，有效地提高城市管理效率，减少人力成本。目前各类数据集的测试效果最好的算法是 YOLOv3，本项目通过运用 YOLOv3 算法实现视频监控的摊位识别<sup>0</sup>。

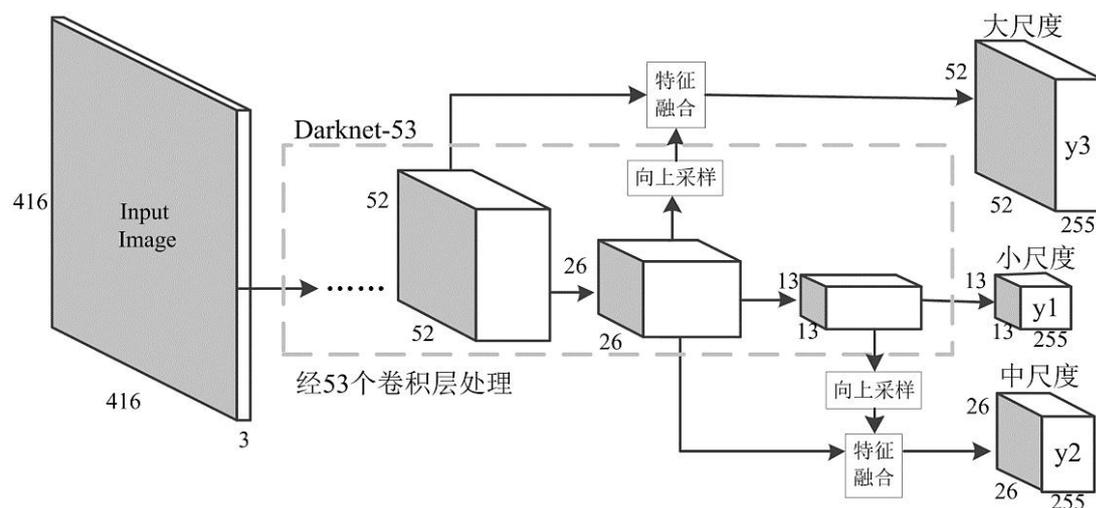


图 2-10 YOLOv3 模型结构图

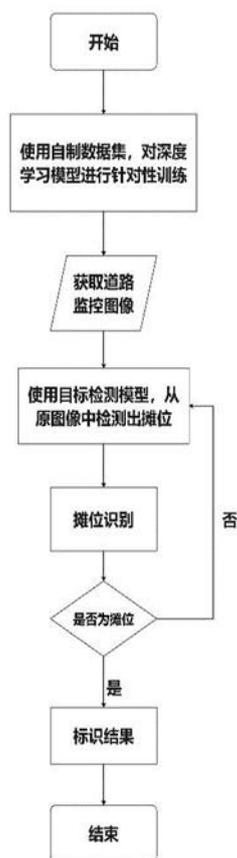


图 2-11 摊位识别流程图

(1) 建立数据集

首先建立数据集，通过采集大量的实际场景中的图像和网络收集图像形成数据集，采用 labellmg 软件标记对数据集中的样本图像。

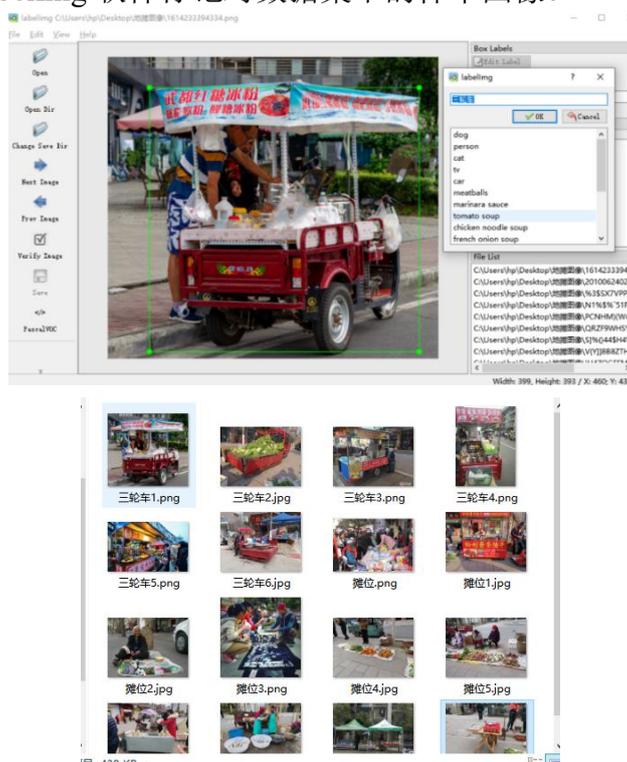


图 2-12 labellmg 软件标记样本

### (2) 设置训练参数

采用自适应矩估计法对参数优化，总体迭代次数设置为 100 次，前 45 次迭代，采用参数学习率为 0.001，后 55 次迭代，参数学习率为 0.0001，如果连续 3 次迭代未减小 YOLOv3 的监测误差，参数学习率减少到原参数学习率的 0.1。

### (3) YOLOv3 训练结果

通过 15 次迭代 YOLOv3 的检测误差由原来的 5000 下降到 25 左右，当迭代 70 次左右时，YOLOv3 模型误差变化较小模型已基本训练完成。当完全迭代后，平均我误差显示在 14.02，能够满足实际需求。

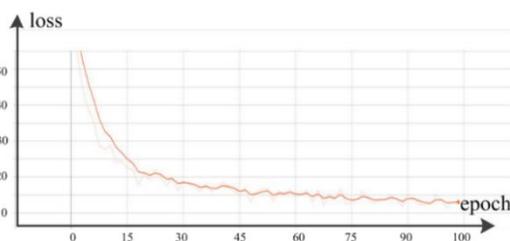


图 2-13 YOLOv3 训练误差与迭代次数

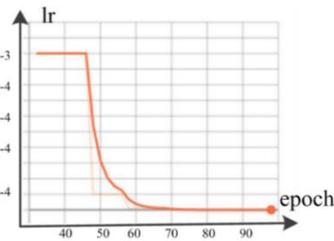


图 2-14 YOLOv3 训练过程学习率的变化

## 2.9 业务数据接口模型设计

智慧地摊管理系统以业务数据库、空间数据库为支撑，以视频监控、摊位识别、GIS 等作为技术监管，对于摊位进行多维度动态管理。智慧地摊管理系统的开发过程中，针对平台要访问和调用的业务数据开发了专门的业务数据接口，如摊主信息查询接口、空气质量接口、反馈信息查询接口、视频监控查询接口等<sup>0</sup>。

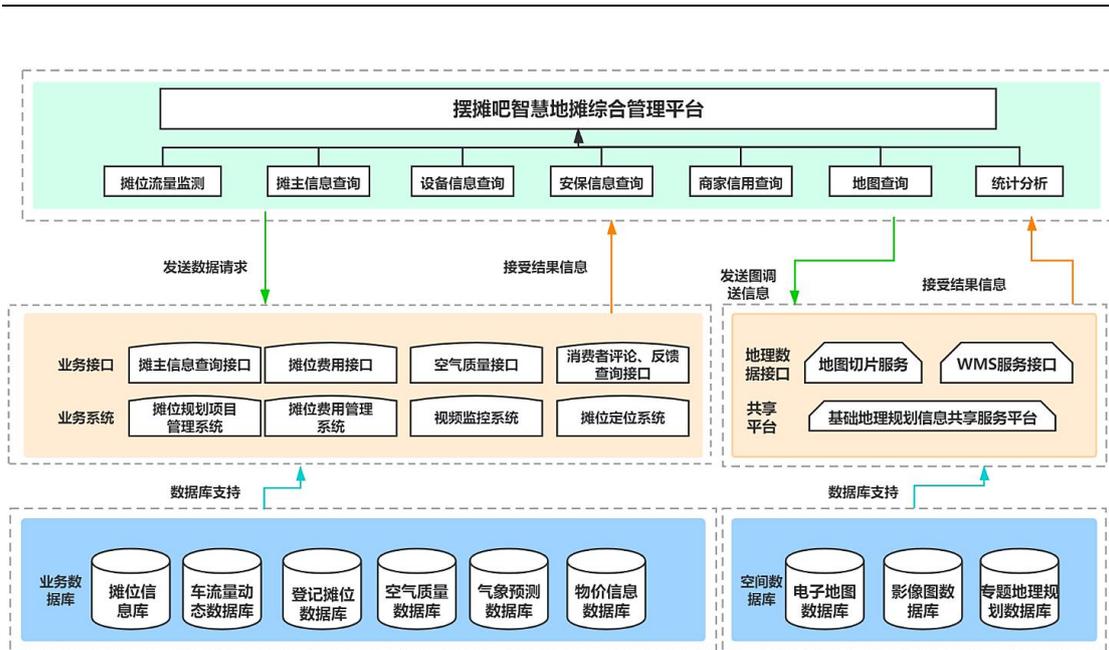


图 2-15 系统结构设计示意图

### 3 硬件设计与实现

#### 3.1 硬件功能设计

基于 GPS/BDS 双模定位技术，集成单片机核心控制模块、BC20 物联网开发模块、GPS/BDS 定位模块、终端显示以及管理模块，设计并制作的一种摊位管理系统。主要功能包括摆摊定位、环境监测、越界报警。系统工作时，硬件模块采集的现场数据经单片机处理，通过三大运营商的窄宽网络系统利用蜂窝与互联网通信，将数据实时的传递到服务器，服务器的软件系统会将这些传回的数据进行分析和处理，最终呈现在管理者的终端设备上，可实现摊位精准定位、使用和占用情况<sup>0</sup>。

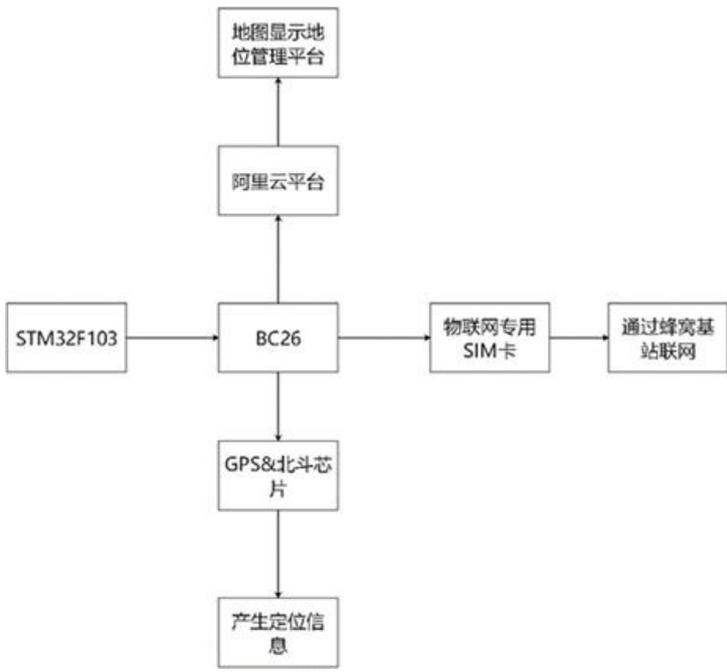


图 3-1 工作原理流程图

## 3.2 硬件设计与选择

### 3.2.1 设计思路

基于北斗定位的定位装置以“监督+管理”为设计理念，主要由单片机核心控制模块、北斗模块、报警模块三大模块组成，商家携带定位装置后，通过 GPRS 无线网络将位置信息传输到上位机显示终端，结合北斗定位技术，管理人员可以在终端查看商家摊位的摆放位置，实时管理并及时处理商家摆摊出现的问题。

### 3.2.2 主要模块

#### (1) 单片机芯片

单片机芯片采用 STM32F103VET6, STM32F 系列属于中低端的 32 位 ARM 微控制器，芯片集成定时器 Timer，CAN，ADC，SPI，I2C，USB，UART 等多种外设功能。此款芯片功能多，算力比较强大，可以实现多种功能，在后续的设计中不仅可以实现定位系统的设计，还可以添加更多高端的功能。STM32 单片机作为编写代码的工具，实现整个产品的可编程化，不局限于一种功能。

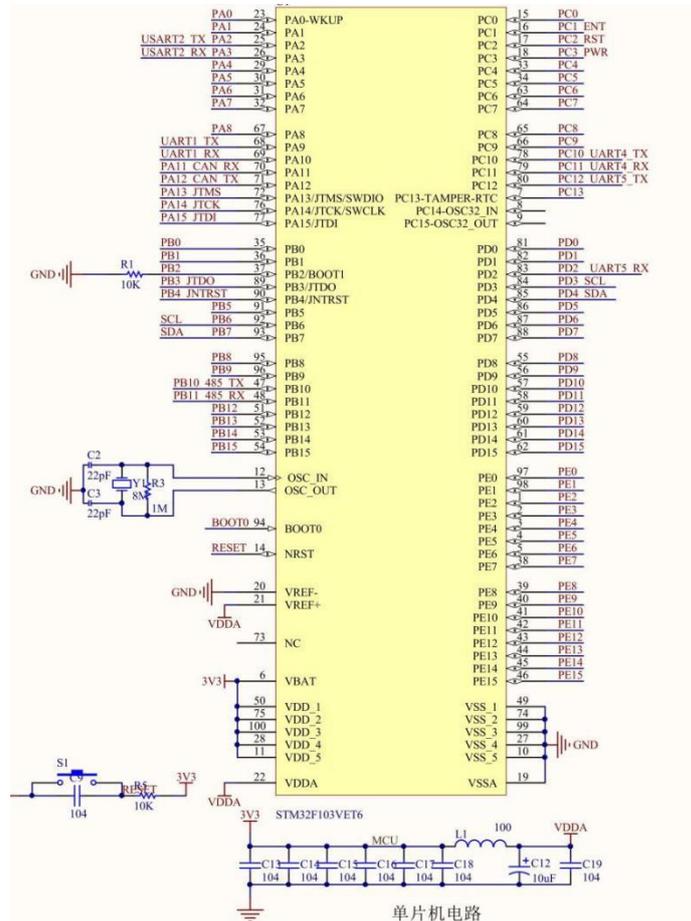


图 3-2 单片机电路图

#### (2) BC20 芯片

该芯片是专门用做物联网而开发的一种芯片，具有发送短信、语音通话 GPRS 数据传输等基于蜂窝网路网络进行通信的基本功能，同时，将蓝牙模块附加在 GSM 模块中，利用蓝牙传输数据信息。

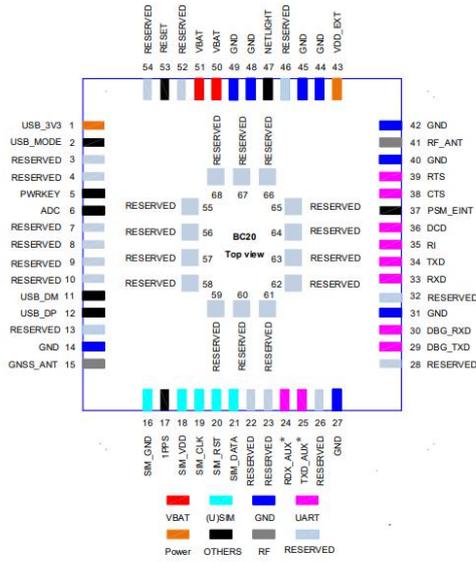


图 3-3 BC20 模块板对外接口电路图

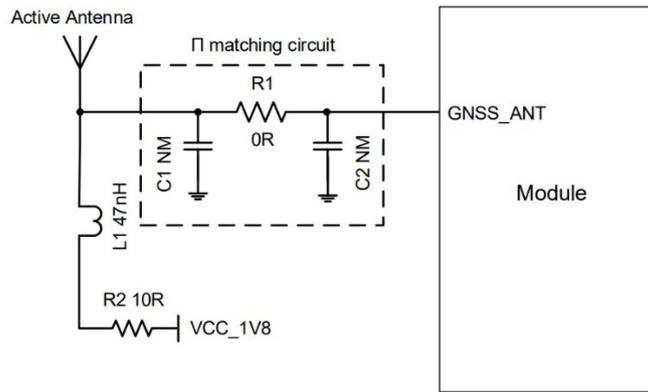


图 3-4 有源天线接入电路图

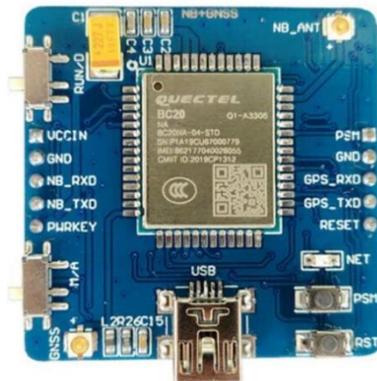


图 3-5 BC20 芯片开发板实物图

### (3) 供电电路

DC5V 接口，输入电压 5V。同时我们提供电源适配器 5V 的电源，用户可以直插入进行使用。

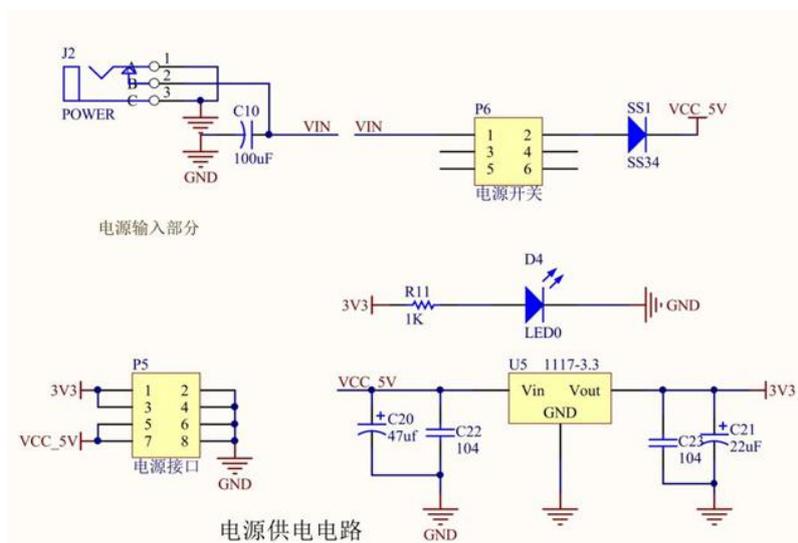


图 3-6 电源供电电路图

#### (4) 蜂鸣器模块

电子围栏警报功能采用低电无源蜂鸣器，可直接跟单片机相连。



图 3-7 无源蜂鸣器

### 3.3 处理程序设计

#### (1) 定位装置程序

定位芯片采用 GPS&BD 双模芯片，通过向串口发送 AT 指令，芯片工作时，自动产生经纬度的信息，存入字符类型指针\*strx。解析定位芯片的原始数据，通过 strstr（）函数判定是否将芯片产生的经纬度数据传回，通过调用函数，把经纬度的带浮点类型数据储存到数组当中去，方便下一步的调用和处理。

#### (2) MQTT 通讯程序

通过 MQTT 协议可以使得硬件与云平台连接，协议中，发布者和订阅者都是客户端，消息代理是服务器，消息发布者同时也可以是订阅者。



图 3-8 MQTT 通讯程序过程

#### (3) 环境监测程序

打开 BC20 芯片配置，通过发送 AT 指令可以测试是否硬件正常连接工作，以下是一些常见的 AT 指令。

表 3-1 指令测试

AT 指令	功能
ATE0	关闭回显，程序初始化 AT 部分首先关闭回显
ATE1	打开回显，使用超级终端测试命令时打开
AT+CSQ	查询网络信号质量
AT+CREG	查询网络注册情况
AT+CGATT	查询模块是否附着 GPRS 网络
AT+GMGR	读短信，信息从+GPMS 命令设定的存储器
AT+CMGS	发送信息
AT+GMDG	删除短信息
AT+CIFSR	获得本地 IP 地址
AT+GIPSTART	建立 TCP/IP 连接
AT+GIPSEND	向服务器发送数据
AT+GIPSHUT	关闭 TCP 连接

### 3.4 集成与安装

考虑到装置的实用性与便捷性，我们将功能装置封装至 PP 塑料盒中，并在表面搭载摊位编号、实名认证、项目标志表明摊位商家已经过认证，消费能够得到保障，同时在表面粘贴交易收款码，方便商家进行收款。

考虑到装置的实用性与便捷性，我们将功能装置封装至 PP 塑料盒中，并在表面搭载摊位编号、实名认证、项目标志表明摊位商家已经过认证，消费能够得到保障，同时在表面粘贴交易收款码，方便商家进行收款。



图 3-9 定位终端电路集成实物图



图 3-10 装置产品实物图

## 4 软件设计与实现

### 4.1 管理端功能设计与实现

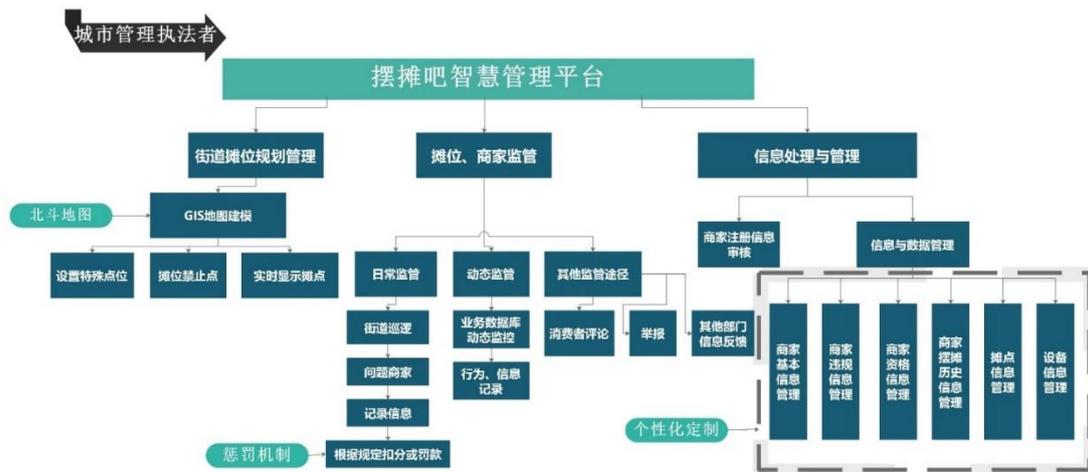


图 4-1 摆摊吧管理平台功能图

管理平台主要功能为：街道摊点规划、摊点和商家监管、信息处理与管理。街道摊点规划主要采用 GIS 与大数据技术，参考摊位类别与类型划分的表格，在“一街一策”的思想下设立合适的街道摊点，实时显示在地图上；摊点和商家监管包括日常监管（城管的街道巡查可进行问题记录）与动态监管（根据业务数据库进行动态的监管）以及第三方的监管（消费者的评论与举报以及其他政府部门的监管反馈）；信息处理与管理主要是对于商家的注册登记审核、商家基本信息及历史摆摊信息、设备信息和摊点信息的查询、处理、管理。

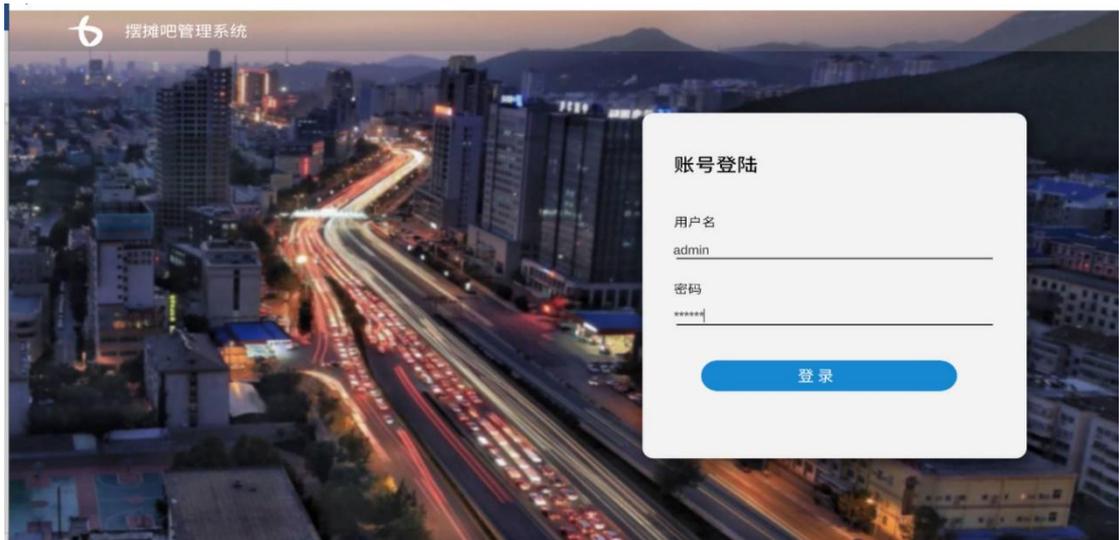


图 4-2 摆摊吧管理系统登录页面



图 4-3 摆摊吧管理系统主页页面

通过主页可以查看该片区的街道摊位的整体情况：摊位种类与摊位数量以及该片区的空气质量情况，便于管理人员进行街道摊位整体情况的了解与管理。

#### 4.1.1 街道摊点规划模块

管理人员可通过商家预约摊位以及历史摊位数量的情况进行摊位的规划。为了解决摊位种类杂乱的问题。根据市场调研结果将常见摊位进行分类，明确摊位服务类型，又通过调研结果进行关联度分析将摊位类别分为大中小三种类别方便管理者规划与摊位商家选择。

表 4-1 摊位类别

小吃类	农副食品类	修理类	服饰类	百货类	娱乐类	烧烤类	才艺类	其他类
冰粉	粮食	钟表	童装	体育用品	射击	烧烤	乐器类表演	
手抓饼	蔬菜	伞具	衣裤	文具用品	转盘	铁板烧	街唱路演 (*须有艺人证)	
糖人	茶叶	鞋子	鞋	二手商品	套圈	麻辣烫	摆拍拍照	
棉花糖	水产品	手机	背包	首饰	等等	等等	街头素描	

臭豆腐	园艺植物	衣物类	等等	家电配饰	等等
凉面	等等	等等		厨房用品	
等等				等等	

表 4-2 摊位类型汇总

摊位型号	摊位类别			
小型摊位	小吃类		修理类	才艺类
中型摊位	农副产品类		服饰类	娱乐类
大型摊位	百货类		烧烤类	

参考摊位参考长度：小型摊位 0-4m；中型摊位 5-6m；大型摊位 7-9m



图 4-4 街道摊位规划图

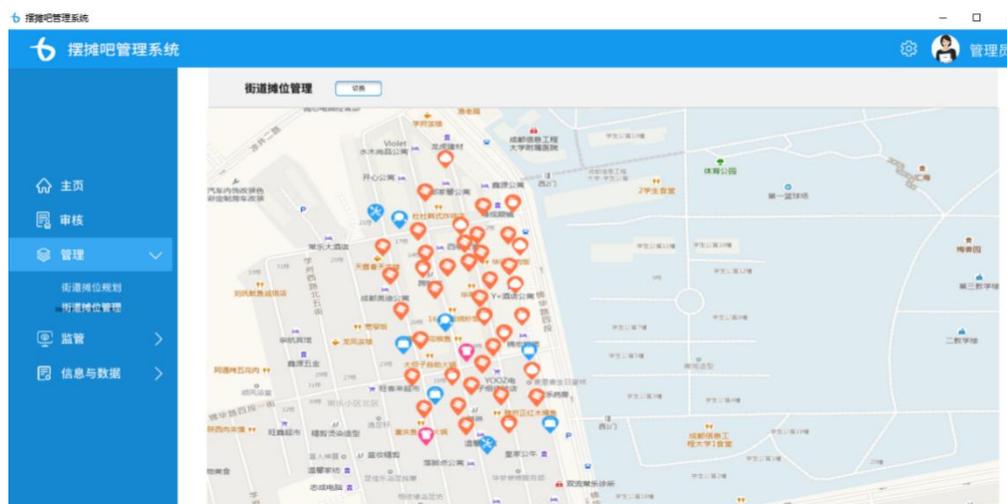


图 4-5 街道摆摊情况显示

#### 4.1.2 摊点和商家监管模块

摆摊吧管理系统中通过街道监控设备和北斗实时定位对商家行为、摊位摆放等进行记录，同时利用摊位识别功能，锁定并区分出街道上不同的摊位，利用前期设计的街道规划图作为辅助图层，对每个街道摊位和商家行为进行针对性监管，提高工作人员管理效率。



图 4-6 街道摊位监控



图 4-7 消费者投诉处理

摆摊吧管理系统 商家行为监管 — 商家行为规范

商家姓名	摊位编号	摊位类型	所在地区	商家违规项	处罚内容	处罚情况
许鸿才	TE202001100001	服装类	双流区	4,9	罚款250元, 停业7天	未执行
周浩广	TE202002100004	百货类	双流区	5	罚款200元, 停业7天	未执行
陈涵亮	TE202002200002	百货类	双流区	4	罚款200元, 停业7天	未执行
何晨光	TE202002210005	玩具类	双流区	8	罚款100元, 停业7天	未执行
方辰浩	TE202002300005	百货类	青羊区	9	罚款200元, 停业7天	未执行
李飞	TE202003140005	服装类	青羊区	6	罚款200元, 停业7天	未执行
张宁	TE202003150023	百货类	双流区	5	罚款100元, 停业7天	未执行
邓海荣	TE202003200002	百货类	金牛区	9	罚款100元, 停业7天	未执行

图 4-8 商家行为规范处理

### 4.1.3 信息处理与管理模块

基于监管模块中得商家行为监管，发现违规商家，可通过信息处理与管理模块进行系列信息查询，结合商家基本信息、摊位信息、该商家历史摆摊和违规信息为管理者决策提供多方面信息，以便管理者做出综合决定。

摆摊吧管理系统 商家基本信息管理

姓名	摊位编号	身份证号	手机号	摊位类型	经营类别	摆摊时长	所在地区
许鸿才	TE202001100001	51130301987041219	23423411	长期租用	服装类	91天	双流区
周浩广	TE202002100004	51130301984122310	22342322	长期租用	百货类	41天	双流区
陈涵亮	TE202002200002	51130301984122310	23523533	长期租用	百货类	78天	双流区
何晨光	TE202002210005	51130301995122310	6457223	短期租用	玩具类	69天	双流区
方辰浩	TE202002300005	51130301995071421	2342342	短期租用	百货类	64天	青羊区
李飞	TE202003140005	51130301997122310	234231423	短期租用	服装类	42天	青羊区
张宁	TE202003150023	51130301994121310	353462	长期租用	百货类	40天	双流区
邓海荣	TE202003200002	51130301994122310	12413441	短期租用	百货类	43天	金牛区

图 4-9 商家基本信息管理

商家违规信息管理						
姓名	摊位编号	所在地区	所有违规项	当前未处理项	详情	
许鸿才	TE202001100001	双流区	4,9	9	<a href="#">详情</a>	
周浩广	TE202002100004	双流区	5	5	<a href="#">详情</a>	
陈涵亮	TE202002200002	双流区	4	4	<a href="#">详情</a>	
何晨光	TE202002210005	双流区	8	8	<a href="#">详情</a>	
方辰浩	TE202002300005	青羊区	9	9	<a href="#">详情</a>	
李飞	TE202003140005	青羊区	6	6	<a href="#">详情</a>	
张宁	TE202003150023	双流区	5	5	<a href="#">详情</a>	
邓海荣	TE202003200002	金牛区	9	9	<a href="#">详情</a>	

图 4-10 商家违规信息管理

商家摆摊历史信息查询						
姓名	摊位类型	经营类别	所在地区	摆摊期限	当前情况	
万浩波	短期租用	玩具类	双流区	剩余86天	营业中	
何晨光	短期租用	玩具类	双流区	剩余69天	营业中	
刘德泽	短期租用	小吃类	双流区	剩余55天	营业中	
周浩广	长期租用	百货类	双流区	剩余41天	营业中	
宋海晶	短期租用	玩具类	双流区	剩余41天	营业中	
张宁	长期租用	百货类	双流区	剩余40天	营业中	
张泰	长期租用	百货类	双流区	剩余52天	营业中	
徐浩言	短期租用	玩具类	双流区	剩余36天	停业	

图 4-11 商家摆摊历史信息查询

摊点信息管理						
摊位编号	商家姓名	所在地区	摊位类型	经营类别	申请日期	
TE202001100001	许鸿才	双流区	长期租用	服装类	2021/2/22	
TE202002100004	周浩广	双流区	长期租用	百货类	2021/1/20	
TE202002200002	陈涵亮	双流区	长期租用	百货类	2021/2/18	
TE202002210005	何晨光	双流区	短期租用	玩具类	2021/2/24	
TE202002300005	方辰浩	青羊区	短期租用	百货类	2021/2/23	
TE202003140005	李飞	青羊区	短期租用	服装类	2021/2/24	
TE202003150023	张宁	双流区	长期租用	百货类	2021/1/29	
TE202003200002	邓海荣	金牛区	短期租用	百货类	2021/1/14	

图 4-12 摊点信息管理

## 4.2 用户端功能设计与实现

用户端按照使用对象分为巡查监管者、消费者、商家三种 APP。巡查监管者所使用的 APP 主要功能包括巡查路径规划、摊位问题采集、摊位问题处理、摊点导航；消费者所使用的 APP 主要功能包括摊位评论与举报、商家信息浏览、摊点导航；商家 APP 主要功能包括实名认证、摊位选取、装置连接、信息接收。

### 4.2.1 巡查监管者

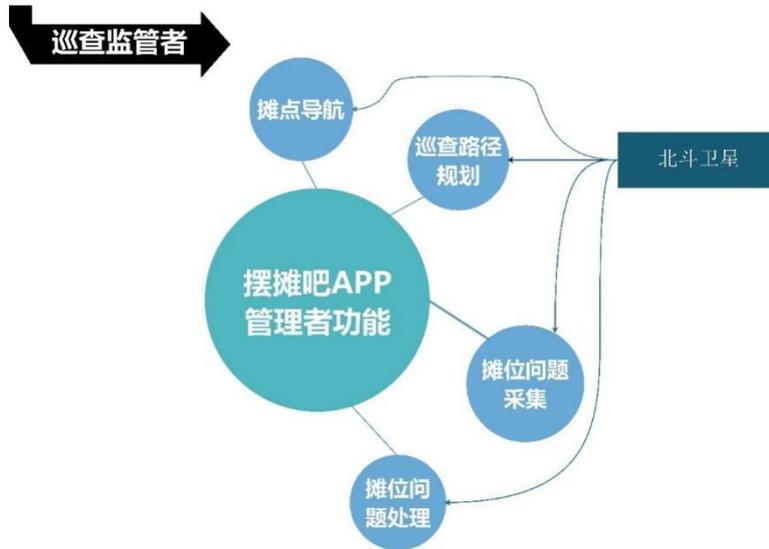


图 4-13 巡查监管者 APP 功能

#### (1) 路径巡查

运用上述改进的 Dijkstra 算法来寻求最短的多点巡查路径，以双流区城管局为起点选取双流区的几个大学周围的摊位点，会找到如图 4-14 中绿线所示路径。通过比较地图数据发现这条路线确实为最短路径，且查找的时间也非常短，适用于实际巡查的路径规划。



图 4-14 改进算法寻找最短路径实例



图 4-15 摆摊吧 APP 中巡查线路规划

### (2) 问题采集

在巡查过程中将利用北斗卫星对巡查人员的路径进行实时追踪和记录，在巡查过程中当巡查人员发现摊位问题，在上传相关证明材料的同时利用手机自带的北斗定位功能也将巡查人员的位置进行上报，提供位置证明。

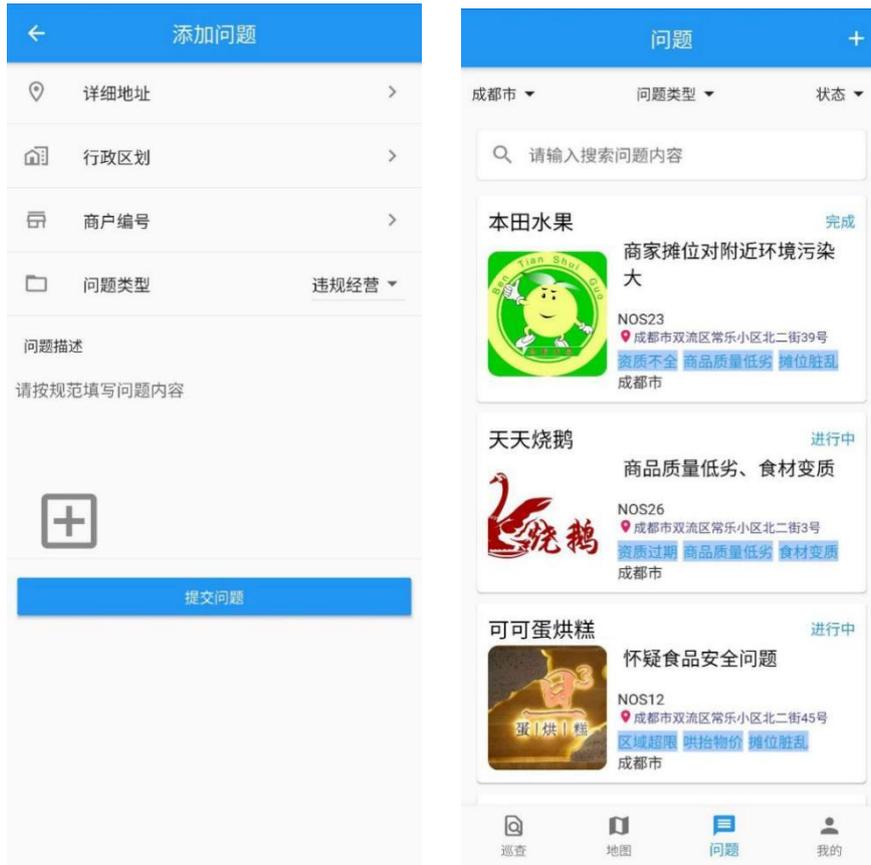


图 4-16 问题采集页面



图 4-17 地摊违规照片采集

## 4.2.2 消费者

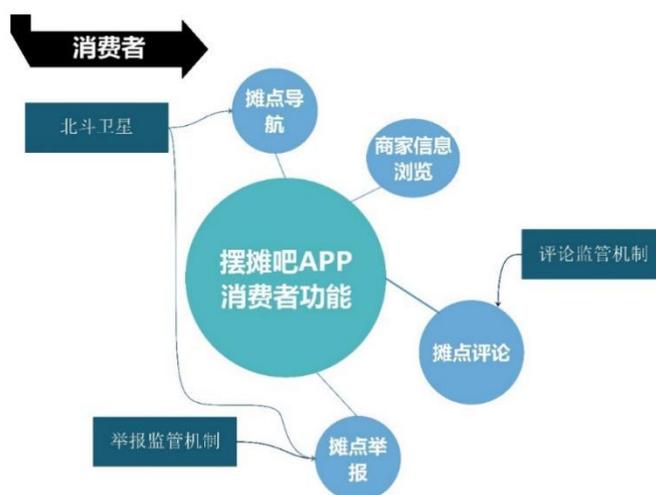


图 4-18 消费者 APP 功能

### (1) 摊点评论与举报

为活跃地摊经济市场、增加用户参与度、维护消费者权益，我们在消费者摆摊吧 APP 上设置了摊位评价和举报商家的选项。若消费者遇见假冒伪劣产品、视频安全问题等，可通过 APP 进行举报反馈给管理部门，在举报材料上传同时利用用户手机中的北斗定位功能，提供位置证明。管理部门对情况调查核实后将对商家进行罚款和降低信用值，严重的情况将进行停业整改或者拉入申请摊点的黑名单。通过群众监督、管理部门核实的形式驱使商家提升摊位的质量和服务水平。评论机制的引入可使其他消费者将评价、评分作为消费参考，快速对接消费目标。



图 4-19 消费者举报和评论页面

### (2) 摊位查询与摊点导航

消费者可通过 APP 进行搜索，在 APP 上查看摊位地图上的摊位商家的信息、了解的摊位类型、经营物品，锁定目标后可通过北斗卫星进行摊位导航，从而快速完成消费的过程。



图 4-20 摊位地图



图 4-21 查找摊位

### 4.2.3 摆摊商家

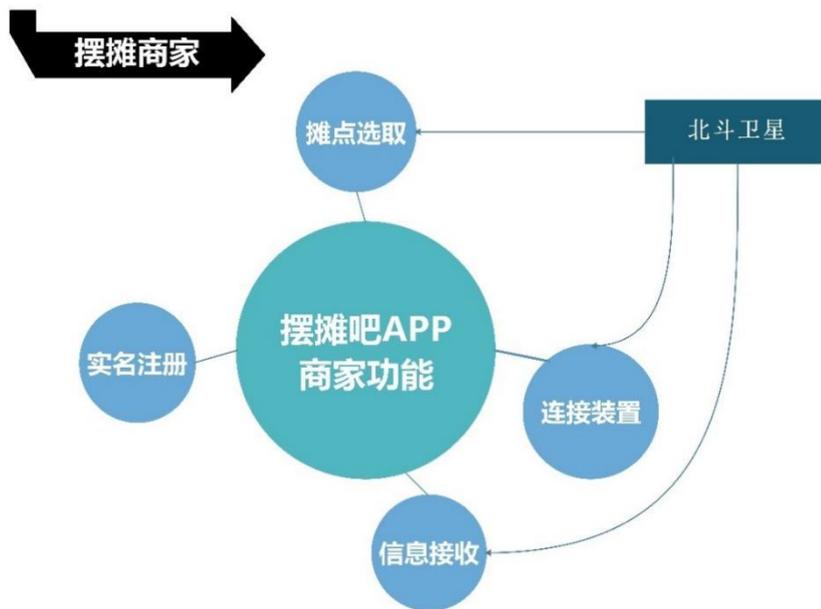


图 4-22 摆摊商家 APP 功能

摆摊商家 APP 功能主要包括实名认证、摊位选取、信息接收、装置连接。

### (1) 实名认证

针对食品安全、清洁乱象、假冒伪劣产品频频出现，管理者难以追根溯源解决问题，消费者权益难以得到保障等问题：为商家入驻引入了实名认证机制，根据商家信用与历史背景信息，对商家进行综合评估，达到要求才能进行摊位申请，实名认证从根本上解决了商家进行欺骗消费者的问题，消费者维护自身权利有了保障的渠道。

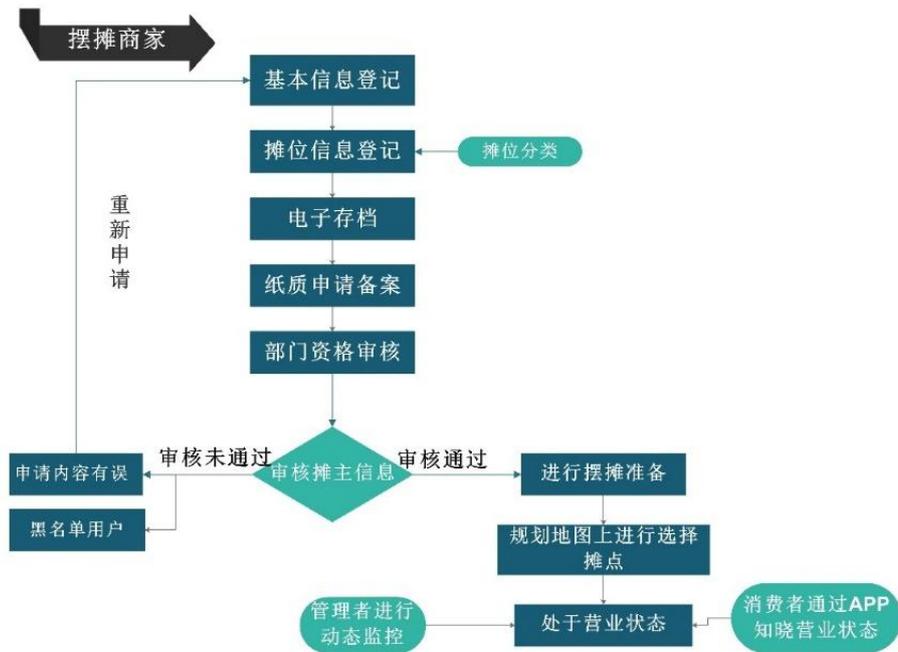


图 4-23 商家实名认证流程



图 4-24 信息登记



图 4-25 摊位类型选择

### (2) 摊位选取

通过调用百度地图的 API，获取平台开发的街道摊位地图，进行目标摊位选取。



图 4-26 进行摊位选取

### (3) 装置连接

使用 APP 连接定位装置，登录成功后即可将商家信息以及利用手机北斗定位功能将商家实时位置显示在地图上。

#### (4) 信息接收

信息接收包括对定位装置的连接情况的通知，管理员对摊主的通知，审核通知，天气预报，摆摊前后注意事项等等。



图 4-27 通知信息接收

## 5 产品场景模拟

根据以上的项目介绍，根据使用对象的类型对产品进行了如下的场景模拟。

### (1) 商家

小张是一位烧烤摊老板，希望长期在某街道处进行烧烤摊营业，他通过摆摊吧 APP 实名认证并确定了自己的摊位种类与摊位大小。在综合人流量、周围环境、历史摊位记录选择了居民楼对面其中的一个摊位点。小张最后选择了居民楼对面的一个摊位点，当管理员在摆摊吧管理系统中批准小张的申请请求后，小张将审核通过的表打印下来，提交到城管局进行纸质备案，并得到一个摊位定位装置。小张摆摊时只需要到达之前选择好的摊点，登录 APP 并打开定位装置后，就可以开始正常营业。在营业过程中受到了用户好评，也收到了一些改进意见，甚至还停业整顿过，经过一段时间调整，小张重新开业，更加关注食品安全，烧烤即安全又美味，顾客好评如潮，小张的信用值和摊点的评分开始上升，吸引了更多的顾客前来品尝。

### (2) 消费者

小王是个吃货，每天都有吃夜宵的习惯，通过摆摊吧消费者 APP 发现附近新开了一家烧烤摊，他使用 APP 中的导航功能步行大概十分钟后，到达了摊位点进行了消费。第二天，小王出现了上吐下泻、头晕的情况，通过医院检查，发现是因食用不卫生食物引起的，确定是因食用烧烤而引起的症状后，小

---

王将问题反馈给了管理部门,管理部门查证后,对小张的烧烤摊进行了罚款与停业整顿的惩罚。

### (3) 管理者

城市管理局中的小赵是操作管理系统的管理人,负责摊位规划、审核、管理等工作。比如对于负责小张烧烤摊位的申请审批、小王的举报反馈。在收到小王的举报反馈后,管理部门迅速派出人员,通过调用管理系统中的信息很快找到了小张的位置,导航到达指定摊位进行了调查、取证。发现确实是食用了过期的冷冻的烧烤导致了小王的食物中毒,管理部门对涉事摊位进行了处理,进行了罚款,扣除了一部分信用值,并下令其停止经营整改。

## 6 项目创新点与应用前景

### 6.1 项目创新点

#### (1) 北斗与 GIS 技术相结合

本系统将北斗定位导航系统高精度定位与 GIS 采集地理分布数据并与运算显示功能相结合以高效利用两系统的长处。通过 GIS 技术对采集地理数据、结果输出形成摊位地图,在此基础上利用北斗定位系统获取摆摊商家高精度的位置并发送至物联网云端管理平台,最终通过终端让管理者与消费者知晓摆摊商家的状态。

#### (2) 时空一体化数据管理模式

将视频监控、空气监测、摊位信息等实时监测数据进行有效组织,与地理空间位置数据结合,并通过固定频率传输实时监测数据相结合的方式,实现时空一体化数据的有效管理和运用。

#### (3) 基于优化 Dijkstra 算法巡查路径规划

运用 GIS 技术、北斗定位结合街道的实际情况,利用改进的 Dijkstra 算法与贪心理论将要求解的最短路径拆分成三部分,最终得到全局最短路径,再通过需求甄选目标线路进行导航,改进算法大幅度降低规划的时间,适用于实际巡查路径规划。

#### (4) 三位一体式管理

项目将消费者、摊位商家、城市管理人员三个市场重要对象整合在一起,对于城市管理人员开发了管理平台综合管理平台,为巡查人员实现问题收集、摊位巡查、监管功能;对摊位商家提供了摊位选择功能,实行商家实名制,摊位责任制,以减少市场上的各种问题;为消费者提供评论、举报功能,与保障消费者的权利。通过将三者进行有机融合形成相互协调、反馈、监管的三位一体式管理形式。

### 6.2 应用前景

地摊作为一种自由职业,工作较为灵活创业门槛低、失败风险低,通过对地摊市场进行合理的规划与管理,在未来地摊行业具有很大的挖掘上升空间。该项目运用北斗导航系统与 GIS 技术开发了智能化规划与管理的系统,改变了传统的地摊管理方式。该项目不仅可运用于地摊市场,还可以进行多场景应用如特色古镇、农贸市场、古玩市场等等。在装置还可以加入烟雾传感器、音量传感器、温度传感器、实时监控等监测摊位状况,出现意外情况可第一时间通知有关部门进行处理。

### 6.3 边缘计算技术

边缘计算是指在靠近数据源一侧，集网络、计算、存储、应用等功能一体化的开放平台，利用就近优势提供最近端服务。随着物联网的发展，边缘计算技术发展迅速，其应用程序在边缘侧发起，产生更快的网络服务响应。边缘计算本身是分散的云计算，除了有云计算的优势外，还具有低延时、高使用和更安全。

本研究项目基于边缘计算技术，将安放在滑坡监测目标体上的十多个北斗监测终端输出的原始观测数据进行集中处理，每个监测终端只需要输出卫星信号的原始观测数据和星历等，通过无线通信网络把这些数据传到边缘计算终端，计算终端依据每台监测终端对应的 IP 地址和端口号，区分不同监测终端的原始实时数据，实时差分解算这些原始数据。在进行数据处理方面支持非线性 Kalman 滤波算法、电离层改正模型、支持多基站解算等功能，提高定位精度。

本项目边缘计算技术与传统的 RTK 技术相比，具有如下特点：

- 硬件简单。传统的 RTK 技术算法固化在监测终端的 GNSS 接收机内部，对 GNSS 接收机内处理器的计算性能要求高，监测终端结构复杂，成本高、功耗大，产品耐受性低。边缘计算直接应用监测终端的北斗 GNSS 原始观测数据，通过计算终端集中差分解算处理，实现各个监测终端高精度定位，对监测终端硬件要求不高，成本低、功耗小，减少维护量。
- 定位精度高。边缘计算监测终端和计算终端保持数据同步，可以最大程度地抵消大气层延迟造成的公共误差，动态定位数据中的各种随机误差可采用滤波方法消除，保证输出的定位结果真实性，可以保证毫米级的定位精度。
- 系统可靠。卫星信号发生失锁时，传统 RTK 接收机需要重新初始化，求解整周模糊度，造成定位解输出的中断。而边缘计算软件运行在高性能处理器上，整个计算功能可以设计成冗余模式，增加系统的可靠性，软件能长时间持续稳定运行，克服 RTK 方式下重新初始化中断、需要人工干预静态解算、时效性弱等缺点。

### 6.4 Kalman 滤波算法

北斗 GNSS 动态定位数据中的各种随机误差可采用滤波方法消除，保证输出的定位结果真实性，利用 Kalman 滤波器等最优估计的方法，消除各种随机干扰，将真实的状态实时最优地估计出来。建立系统模型和观测模型，应用 Kalman 滤波器进行最优估计，如下为动态定位离散状态空间模型：

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{X}(k+1) &= \Phi(k+1, k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{W}(k) \\ \mathbf{Y}(k+1) &= \mathbf{h}[\mathbf{X}(k+1), k+1] + \mathbf{V}(k+1) \end{aligned} \right\}$$

式中  $\mathbf{X}$  为  $n$  维状态向量， $\mathbf{h}(\cdot)$  为状态的  $m$  维非线性函数， $\mathbf{Y}$  为  $m$  维输出量， $\Phi(k+1, k)$  为  $n \times n$  维系统转移矩阵。 $\mathbf{W}(k)$ ， $\mathbf{V}(k)$  分别为  $n$ ， $m$  维随机向量序列，满足如下统计特性：

$$\begin{aligned}
E[\mathbf{W}(k)] &= E[\mathbf{V}(k)] = \mathbf{0} \\
E[\mathbf{W}(k)\mathbf{W}^T(k)] &= \mathbf{Q}(k)\delta_{k,j} \\
E[\mathbf{V}(k)\mathbf{V}^T(k)] &= \mathbf{R}(k)\delta_{k,j} \\
E[\mathbf{W}(k)\mathbf{V}^T(k)] &= \mathbf{0}
\end{aligned}$$

$\mathbf{Q}(k)$  为  $n \times n$  维半正定对称阵， $\mathbf{R}(k)$  为  $m \times m$  维正定对称阵。设初始状态  $\mathbf{X}(0)$  为满足如下统计特性的随机向量：

$$\begin{aligned}
E[\mathbf{X}(0)] &= \mathbf{X}_0 \\
E[(\mathbf{X}(0) - \mathbf{X}_0)(\mathbf{X}(0) - \mathbf{X}_0)^T] &= \mathbf{M}_0
\end{aligned}$$

非线性系统在其标称轨线上，进行泰勒展开，近似取线性部分，并用 Kalman 滤波器进行状态估计时，得到扩展 Kalman 滤波器如下：

$$\left. \begin{aligned}
\hat{\mathbf{X}}(k, k-1) &= \Phi(k, k-1) \hat{\mathbf{X}}(k-1) \\
X(k) &= X(k, k-1) + K(k)(S(k) - h(X(k, k-1), k)) \\
P(k, k-1) &= \Phi(k, k-1)P(k-1)\Phi(k, k-1) + Q(k-1) \\
K(k) &= P(k, k-1)H(k)[H(k)P(k, k-1)H(k) + R(k)]^{-1} \\
P(k) &= [I - K(k)H(k)]P(k, k-1)
\end{aligned} \right\}$$

## 6.5 伪卫星技术

伪卫星可以发射仿卫星信号，增强复杂环境中卫星导航定位性能，伪卫星采用与卫星信号基本一致的导航电文格式，安装在适当的位置，改善卫星信号分布及数量，接收来自 GNSS 卫星和伪卫星的信号时，不需改动现有的定位终端硬件。在遮挡现象严重的复杂山体环境中，若采用卫星定位进行变形监测，可见卫星数量及其分布是需要克服困难，如果不解决将不能满足安全监测可靠性。采用布设伪卫星方法，可以改善卫星分布几何条件。伪卫星载波相位可以表示如下：

$$\phi_r^{PL} = \rho_r^{PL} + N_r^{PL}\lambda + c\delta t^{PL} - c\delta t_r + \delta_{p\alpha} + \delta_{trop}^{PL} + \delta_{mp}^{PL} + \delta_n^{PL}$$

$\rho_r^{PL}$  是伪卫星与接收机之间距离； $r$ ,  $\delta t^{PL}$ ,  $\delta t_r$ ,  $\delta_{p\alpha}$ ,  $\delta_{trop}^{PL}$ ,  $\delta_{mp}^{PL}$ , and  $\delta_n^{PL}$  是伪卫星时钟误差，接收机时钟误差，定位误差对流层延迟，信号多路径，以及观测噪声； $\lambda$  和  $N_r^{PL}$  分别是波长和零差整周模糊度， $c$  是光速。对于伪卫星单差之间的协调参考站和一个观察站  $R$  相线性方程如下：

$$\Delta \phi^{PL} = -u_r^{PL}\delta X_r + \Delta N^{PL}\lambda - c\Delta \delta t + \Delta \delta_{p\alpha} + \Delta \delta_{trop}^{PL} + \Delta \delta_{mp}^{PL}$$

其中  $u_r^{PL}$  是从测站  $r$  单位向量到一个 PSL,  $\delta X_r$ , 更正到近似坐标站,  $r$  和  $\Delta$  表示微分算子。

由于伪卫星信号靠近地面，传播带来的多路径效应比卫星信号严重得多。只有消除伪卫星的多路径误差，才能保证卫星与伪卫星组合观测数据的处理效果。考虑到在静态定位的环境下，伪卫星与观测站的位置是固定不变的，用较好观测时段推求多路径误差，得到多路径效应影响的估计值，来改正伪卫星原

---

始载波相位观测值,对伪卫星多路径误差进行校正,满足 GNSS 与伪卫星组合系统的高精度定位需求。

### 参考文献

- [1] 马俊卿.守住底线 稳中求进——从全国两会看“六稳”“六保”如何发力 [EB/OL].[http://www.xinhuanet.com/photo/2020-05/26/c\\_1126032020.htm](http://www.xinhuanet.com/photo/2020-05/26/c_1126032020.htm),2020-05-26.
- [2] 于素君,易昌华,李春芬,陈传庚.北斗卫星导航系统定位原理及其应用综述[J].物探装备,2020,30(01):59-63.
- [3] 刘琳.北斗/GPS 双模差分定位技术的研究及实现[D].北京交通大学,2013.
- [4] Geodetics; Reports Outline Geodetics Study Results from University of New South Wales (Timing group delay and differential code bias corrections for BeiDou positioning)[J]. Science Letter,2015.
- [5] 王战友,李昼阳,周银.广东智慧河长平台设计与实现[J].水利信息化,2019(03):10-16+44.
- [6] 花玲玲.基于 GIS 空间分布特征的 Dijkstra 最短路径算法研究[D].重庆大学,2007.
- [7] 王琳.车辆检测跟踪算法的研究与应用[D].大连海事大学,2019.
- [8] 李永钧.基于 RFID 的智慧园林信息集成管理系统研究[J].黑龙江农业科学,2016(06):133-136.
- [9] 周孟强,童忠晴,李刚.基于 STM32 的北斗/GPS 定位系统的设计[J].电子制作,2018(13):8-10.

---

# 基于北斗卫星的智能红绿灯动态调控

作者：陆致轩、刘泳淇、张国庆、尤润生

指导教师：戴晓爱

学校：成都理工大学

---

**【摘要】** 随着交通压力不断增大，交通拥堵日益严重。通过红绿灯协调交通状况是短时间内有效改善交通拥堵情况的方法之一。为缓解交通拥挤问题，并且避免传统方式获取智能红绿灯所需交通参数时安装设备出现的破坏路面、不经济等问题，本文采用了利用北斗全球卫星导航系统的定位功能获取用户终端位置点的方法，分析计算得出智能红绿灯调控周期所需的交通参数，并对其进行周期的实时调控。该基于北斗卫星的智能红绿灯动态调控系统将大大节约智能红绿灯的安装成本，加快智能红绿灯的普及，有效改善各大中小城市面临的日益严峻的交通拥堵状况。

**【关键词】** 交通信号灯；智能调控；北斗卫星；实时检测；算法运算

**【Abstract】** Congestion is increasing as traffic pressure increases. Traffic coordination through traffic lights is one of the effective ways to improve congestion in a short period of time. To alleviate traffic congestion, and avoid the traditional methods of traffic parameters traffic lights to install smart devices, not economic issues, this article by using the global navigation satellite systems compass terminal user functions location point methods, analyzing the traffic lights intelligence necessary for the regulation of the traffic parameters cycle, and their control cycle in real time. The intelligent dynamic traffic light regulation system based on the BDS satellite will significantly save the costs of installing smart lights, accelerate the spread of smart lights and effectively improve the increasing traffic congestion faced by cities large and small.

**【Key words】** Traffic lights; Intelligent control; Beidou satellite; Real-time detection; Algorithm for computing

---

## 1 引言

近年来，随着人们生活水平的不断提高，交通需求也不断增加，路网建设不能跟上城市人口增长以及交通管理体系不完善、缺乏协调机制<sup>[1]</sup>等问题，导致了各大中小城市的交通拥堵问题。交通拥堵不仅给人们的生活带来不便，因交通拥堵带来的经济损失、社会损失、环境污染问题等更是难以估量<sup>[2]</sup>，因此利用红绿灯来改善交通拥堵状况尤为必要。智能红绿灯在一些城市已经得到了应用，但普遍采用传统的数据获取方式，例如：线圈传感器检测、磁阻传感器检测、空气管道检测、雷达检测、超声波检测、红外线检测、视频检测、RFID<sup>[3]</sup>等。通过以上方式来获取车流量数据为智能红绿灯的实时调控提供数据基础。这些传统的数据获取方式都存在其弊端，而利用北斗卫星导航系统获取机动车辆及非机动车辆的位置点来获得一定路段内的车流量数据的方式则可以不受天气、安装设备的经济问题等因素的干扰，并且“北斗芯”<sup>[4]</sup>在车辆及智能

手机上得到了广泛应用，获取位置信息不受定位装置数量的限制，更让利用北斗卫星导航系统获取位置信息成为可能。

北斗卫星导航系统利用三球交会原理<sup>[5]</sup>进行用户终端的定位，从而获取用户终端的地理位置信息，通过车载定位装置以及非机动车上的移动终端设备便可获得机动车和非机动车辆的位置点，这些位置点信息被 GIS 管理系统<sup>[6]</sup>进行收集分析，计算得出车流量、位置点面密度等交通参数，为红绿灯周期的实时调控提供数据基础。本文章就如何利用北斗卫星导航系统获取实时交通信息以调控智能红灯的周期进行了研究。

## 2 设计思路

基于北斗的智能交通红绿灯调控系统是由检测系统、运算系统和交互系统三个方面构成的。其硬件系统可以搭载在现今已经建设相当完备的北斗卫星系统上，由北斗卫星实时监控车流量变化，采集该路段车辆过往数量。经过系统处理，传输到运算系统中，通过预设的算法，来根据不同路段及相邻路段的车流量来自动调控各个路段的交通信号灯亮灯时长，由控制系统直接控制该路段的红绿灯以最佳效率去管理交通，然后通过交互系统来将计算机计算出的时间来应用到各个路口的交通信号灯。各模块设计思路如下：

1) 目标定位模块：为精准获取车辆及行人的数据设置了，本项目采用的是北斗导航系统来实现功能，因其创新融合了导航与通信能力，具有实时导航、快速定位、精确授时、位置报告和短报文通信服务五大功能。

2) 数据采集模块：为使数据获取更为精确，采用北斗卫星数据与实测数据结合。

3) 数据处理模块：为使时间分配更合理，采用合理的方法设置一个相对合理的红绿灯周期。同时设置误差处理模块，有效地解决了车辆滞留、行人滞留等问题。得到较为合理的红绿灯分配方案传输至红绿灯控制系统。

具体思路如下图所示：

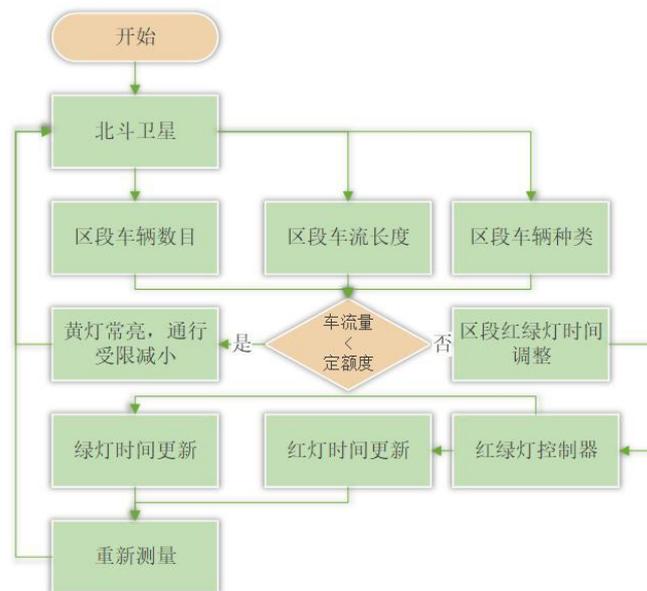


图 2-1 项目思路图

Figure 2-1 Flow chart of project ideas

### 3 研究数据

#### 3.1 实时交通数据获取

基于北斗卫星导航系统 (BDS)，利用其快速定位、精确授时、位置报告的功能<sup>[7]</sup>，此项目可以利用车载定位装置、智能手机、红绿灯智能控制系统，将北斗卫星导航系统接收到的位置信息，通过数据处理系统进行处理、计算后，得到车流量、排队长度、排队时间、人群密度等参数，根据比例对红绿灯进行调控，避免绿灯无车的情况，具体所需数据如下表所示。

表 3-1 信号周期时间计算所需数据

Table 3-1 Data required for signal cycle time calculation

数据	释义	符号
每一相位车辆损失时间	启动延迟时间-结束滞后时间	I
周期车辆总损失时间	各相位总损失时间的和加上各绿灯间隔时间	R
车流量	某方向 实际车辆数/时间	Q
相应相位的饱和车流量	某方向 最大车辆数/时间	S
周期内的总损失时间	$L = \Sigma I + R$	L
最佳周期	红绿灯周期	C

表 3-2 车辆滞留时间计算所需数据

Table 3-2 Data required for vehicle dwell time calculation

数据	释义	符号
周期	红绿灯周期	C
方向 A 上的车流量	方向车辆数/时间	Na
方向 B 上的车流量	方向车辆数/时间	Nb
车辆启动时间	车辆从停滞转换为移动所需时间	t

表 3-3 行人滞留时间计算所需数据

Table 3-3 Data required for pedestrian residence time calculation

数据	释义	符号
机动车道宽度	无	D
行人过街速度	无	$V_p$
行人观察时间	行人观察车辆状态所需时间	R
车身长度通过时间	无	l
平均到达率	行人穿越车流时成功概率	$\lambda$

## 3.2 北斗数据获取

### 3.2.1 位置信息获取

北斗卫星导航系统通过双星导航定位系统获取用户的位置信息。双星导航定位系统由两颗太空卫星（北斗1号和北斗2号）、地面中心站和用户终端组成。<sup>[8]</sup>他的基本原理是以2颗在轨卫星的已知坐标为圆心，各以测定的卫星至用户终端的距离为半径，形成2个球面，用户终端将位于这2个球面交线的圆弧上。地面中心站配有电子高程地图，提供一个以地心为球心、以球心至地球表面高度为半径的非均匀球面。用数学方法求解圆弧与地球表面的交点即可获得用户的位置。其中卫星至用户终端的距离通过由用户终端发射定位信号，通过信号到达定位卫星的时间差值计算得到。

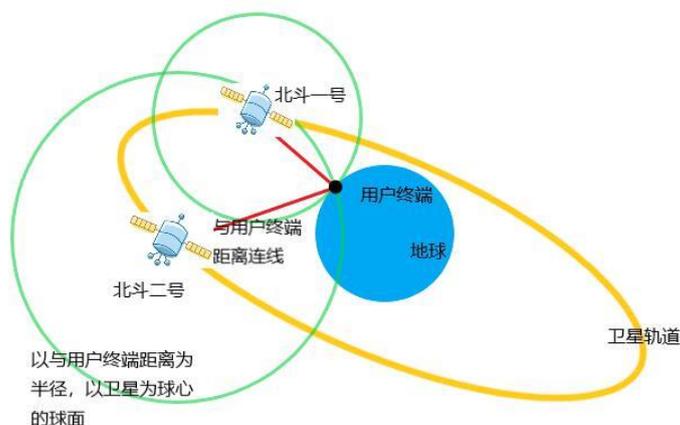


图 3-1 位置信息获取方式示意图

Figure 3-1 Schematic diagram of location information acquisition mode

### 3.2.2 位置点密度

行人及自行车、电动车等非机动车辆，由于分布不如机动车排列有序，因此选用点密度的方法表示等待人数。设点密度为 $\rho$ ，手机移动终端位置点数量 $n$ ，路口的人行道及自行车道特定检测区域固定面积 $S$ ，则

$$\rho = \frac{N}{S} \quad (1)$$

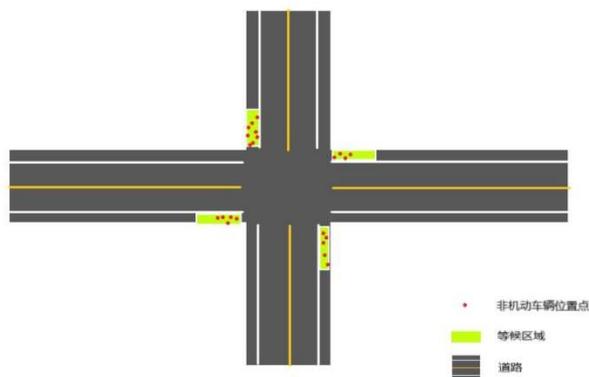


图 3-2 位置点密度统计方式示意图

Figure 3-2 Schematic diagram of location point density statistics

### 3.2.3 排队长度

机动车由于受到车道的限制，排列有序，因此根据球面距离公式，可以直接通过统计各车道位置点的数目来反映车辆排队长度。设一个车道内第一辆车的位置点为 A，其纬度角 $\beta_1$ ，经度角 $\alpha_1$ ，最后一辆车位置点为 B，纬度角 $\beta_2$ ，经度角 $\alpha_2$ ，两点距离（即排队长度）为 L，R 为地球半径，则

$$L = R * \arccos[\cos \beta_1 * \cos \beta_2 * \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \sin \beta_1 * \sin \beta_2] \quad (2)$$

### 3.2.4 车流量

车流量的定义为单位时间内某路段通过的车辆数。设有一检测区域，面积为 S'，这某一段时间 T 内经统计得出经过该区域的车辆数目为 N，车流量 Q，则

$$Q = \frac{N}{T} \quad (3)$$

## 4 技术方法

根据目前情况，红绿灯时间设置存在问题及路口车流量相对较小，红绿灯时间过长，经常出现路口空档，但时车辆必须长时间等待的情况。因此对红绿灯信号周期时间分配为最合理的方案。但由于相位内单位时间车辆及行人数目变动较大，以传统方法预测较为困难。因此选择借助北斗卫星的定位测量，统计车辆及行人数目以用于后续计算成为最可靠及高效的数据获取方法之一。

### 4.1 红绿灯周期设置

由《道路交通自动控制》可知红绿灯最佳周期公式<sup>[9]</sup>为

$$C = \frac{L+5}{1-\sum \frac{Q}{S}} \quad (4)$$

C 为周期时间。

L 为一个周期内的总损失时间。

Q 为相应相位的车流量

S 为相应相位的饱和车流量

即

$$L = \sum I + R \quad (5)$$

I 每一相位的损失时间（=启动延迟时间-结束滞后时间）；

R 为整个周期的总损失时间为各个相位总损失时间的和加上各个绿灯间隔时间。

由此可知，若使用智能交通信号管控系统，则在上一周期结束前将对区域内车流量进行监控，并对下一红绿灯周期时间进行设置。

### 4.2 红绿灯时间分配

通常红绿灯主要分为红绿两阶段，现将红绿阶段分别分配为方向 A 及方向 B 即两冲突方向称滞留阶段及设置为 Ta1 及 Tb1；通行阶段分为 Ta2 与 Tb2

同时 Ta1+ Tb1= Tb2+ Ta2=C（即某红灯时间+某绿灯时间=总周期时间），如图所示

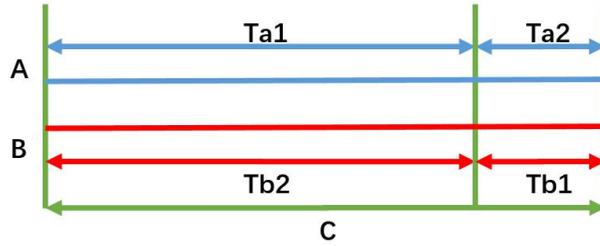


图 4-1 红绿灯时间分配示意图

Figure 4-1 Traffic light time distribution diagram

#### 4.2.1 车辆滞留时间计算

时间分配目的即将车辆总体滞留时间设置为最短，总车辆滞留时间最小。为使总体时间计算公式中存在最小值，公式则必须与自变量  $ta1$  设为二次函数关系。

则：

对于方向 A:

车辆滞留总时间主要由车辆红灯停滞时间及车辆启动延后时间组成，

由《十字路口红绿灯的合理设置》可知，在信号周期以之后方向停滞车流量为总车流量在该方向红灯时间占周期时间百分比<sup>[10]</sup>，停车车辆时间通过区域该方向车辆数目即  $Na$  加以确定，停滞车辆总量为

$$NA = \frac{(Na * Ta1)}{C} \quad (6)$$

其中

$Na$  为区域方向车辆总数，

$Ta1$  为交通信号周期内红灯时间

$C$  为交通信号周期时间

由于停滞时间值不等则对于停滞时间才取平均值处理从零到  $Ta1$  平均值

$$TA0 = \frac{Ta1}{2} \quad (7)$$

由此可得该方向周期平均停滞时间与总停滞车辆数乘积即为车辆总体滞留时间，A 方向车辆总体滞留时间

$$TA1 = NA * TA0 = \frac{Na * Ta1^2}{2C} \quad (8)$$

得出时间 TA

对于方向 B:

采用相同方法，由此可得该方向周期内车辆总体滞留时间

$$TB1 = NB * TB0 = \frac{Nb * Tb1^2}{2C} \quad (9)$$

在总体滞留时间计算过程中，车辆启动时间由于相位内停滞车辆的庞大基数无法忽视，因此，若将车辆启动时间  $t$  加入停滞时间计算，则相位内所有停滞车辆数之和与车辆启动时间乘积即为所有车辆的总体启动滞留时间，为

$$t0 = t * (NA1 + NB1) = t * \left( \frac{Na * Ta1}{C} + \frac{Nb * Tb1}{C} \right) \quad (10)$$

可得总体滞留时间为总体启动滞留时间与方向车辆滞留总体时间之和，即为

$$T=t_0+TA_1+TB_1 \quad (11)$$

将  $t_0$ 、 $TA_1$ 、 $TA_2$  以完整形式表示，则车辆总体滞留时间与  $Ta_1/C$  ( $=C-Tb_1/C$ ) 呈二次函数关系

$$T = \frac{(Na+Nb)}{2} * (\frac{Ta_1}{C})^2 - [(1+t)Nb - tNa] * (\frac{Ta_1}{C}) + tNb + \frac{Nb}{2} \quad (12)$$

则对于  $T$ ，当

$$\frac{Ta_1}{C} = \frac{[(1+t)Nb - tNa]}{(Na+Nb)} \quad (13)$$

$T$  取得最小值

即可得出  $Ta_1$  (方向 A 红灯时间)、 $Tb_1$  (方向 B 红灯时间)

此时计算方向 A 车辆总停滞时间

$$T_{车A} = t * \frac{Na * Ta_1}{C} + \frac{Na * Ta_1^2}{2C} \quad (14)$$

计算方向 B 车辆总停滞时间

$$T_{车B} = t * \frac{Nb * Tb_1}{C} + \frac{Nb * Tb_1^2}{2C} \quad (15)$$

#### 4.2.2 行人滞留时间计算

根据《行人过街延误研究》可得，行人过街的安全间隙从车速、停车时距来考虑，基于车流实况的动态变化，行人过街安全间隙的确定需要考虑行人穿越长度、对向行人的干扰等因素，基于此，提出行人过街的安全间隙<sup>[11]</sup>为

$$\tau = \frac{D}{V_p} + R + I \quad (16)$$

$\tau$  为行人可安全穿越机动车的安全车间隙，

$D$  为一条机动车道宽度，

$V_p$  为行人过街的步行速度，

$R$  为行人观察、判断时间

$I$  为车身长度通过的时间；

根据《无控制人行横道处行人和机动车延误分析》，机动车到达时间间距服从负指数 Exponential 分布，因此穿越车流概率由机动车平均到达率和行人可安全穿越机动车的安全机动车间隙来计算，平均到达率为  $\lambda$  (辆/s)，行人到达要穿越车流时直接穿越的概率<sup>[12]</sup>为

$$P(h > \tau) = \exp(-\lambda \tau) \quad (17)$$

$\lambda$  为机动车平均到达率；

$\tau$  为行人可安全穿越机动车的安全车间隙

将  $h$  为车头时距，即两连续车辆车头端部通过某一断面的时间间隔，其概率密度<sup>[13]</sup>为

$$f(h) = \begin{cases} \lambda * \exp(-\lambda h) & h \geq 0 \\ 0 & h \leq 0 \end{cases} \quad (18)$$

行人在一个间隙内不能过街，则间隙小于可穿越间隙，可得平均等待时间为

$$\bar{h}_{xa} = \frac{\int_0^{\tau} hf(h)dh}{\int_0^{\tau} f(h)dh} = \frac{\frac{1}{\lambda} - (\tau + \frac{1}{\lambda})\exp(-\lambda\tau)}{1 - \exp(-\lambda\tau)} \quad (19)$$

可得 A 方向周期内行人总体滞留时间为 A 方向上的行人流量乘该方向上的行人平均等待时间，即：

$$T_{\wedge A} = MA * \bar{h}_{xa} = MA * \frac{\frac{1}{\lambda} - (\tau + \frac{1}{\lambda})\exp(-\lambda\tau)}{1 - \exp(-\lambda\tau)} \quad (20)$$

MA 为 A 方向行人流量

同理，得 B 方向周期内行人总体滞留时间为：

$$T_{\wedge B} = MB * \bar{h}_{xb} = MB * \frac{\frac{1}{\lambda} - (\tau + \frac{1}{\lambda})\exp(-\lambda\tau)}{1 - \exp(-\lambda\tau)} \quad (21)$$

MB 为 B 方向行人流量

#### 4.2.3 时间重分配

为保证设定时间内所有车辆行人都可安全通过，比较各方向车辆滞留时间与行人滞留时间，将最大值作为时间分配标准，并进行总时间分配。

$$TA = \text{MAX}\{T_{\wedge A}, T_{\text{车A}}\} \quad (22)$$

$$TB = \text{MAX}\{T_{\wedge B}, T_{\text{车B}}\} \quad (23)$$

改写时间 Ta1, Tb1, 根据比例按周期重新分配时间

$$Ta1 = \frac{TA}{TA+TB} * C \quad (24)$$

$$Tb1 = \frac{TB}{TA+TB} * C \quad (25)$$

### 4.3 红绿灯控制系统

交通信号灯控制系统主要由控制器、定时器、译码器和秒脉冲信号发生器部分组成<sup>[14]</sup>。秒脉冲发生器是该系统中定时器和控制器的标准时钟信号源。译码器输出两组信号灯的控制信号，经驱动电路后驱动信号灯工作，控制器是系统的主要部分，由它控制定时器和译码器的工作。

## 5 系统设计

### 5.1 功能需求

软件总体由位置获取，数据采集，滞留时间计算，及数据反馈四部分构成，整体运行流程如下：通过测量相位的定位，并由北斗信息获取部分数据计算信号周期，再由测量人员手动输入实测数据即可计算。行人滞留时间与车辆滞留

时间，将其比较并对信号周期时间进行分配。参考目前北斗定位系统，根据易操作，实时性及高准确度要求<sup>[15]</sup>，运行流程如下图所示。

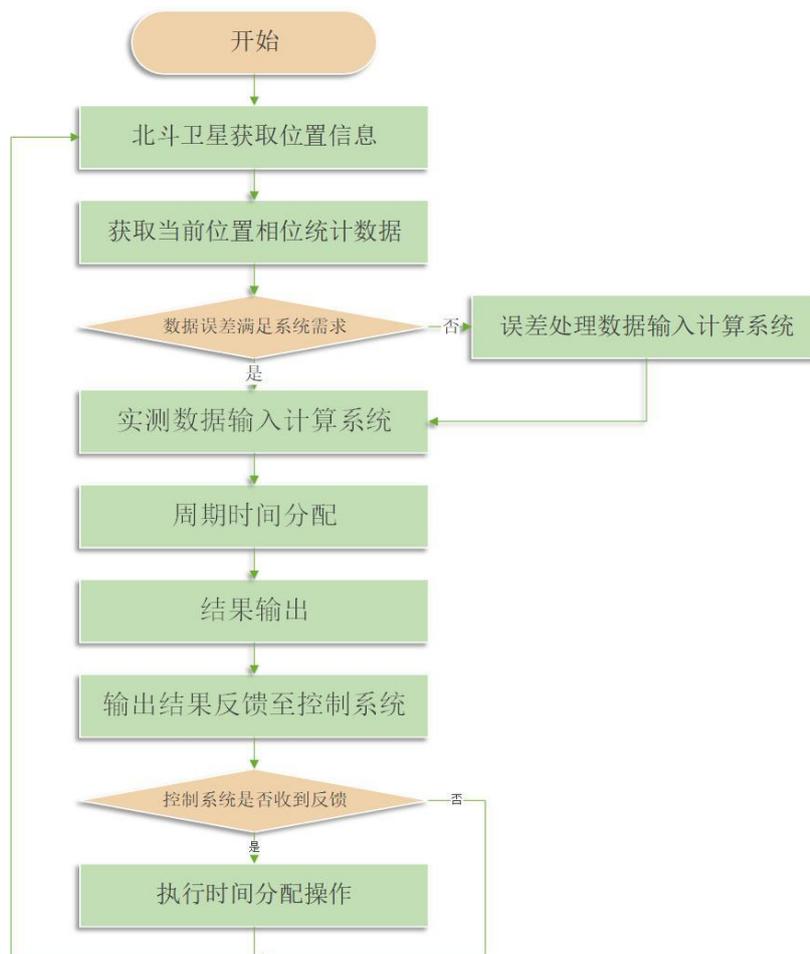


图 5-1 软件设计流程

Figure 5-1 Software design process

根据程序功能需求如下：

1) 位置信息获取：通过所需交通相位信号灯对其进行定位分析。找出其所在相位并通过北斗卫星对当前相位车流量进行监控

2) 数据获取：通过北斗卫星定位系统实现对相位内车流量数目戳了让长度及行人流量的实时监控并将其准确回馈程序，对信号周期进行合理判断及计算

3) 数据处理：通过各数据采集软件几百组卫星对象为内所需实时数据进行监测，通过合理的时间延迟及模糊度解算，将各项数据进行预处理，反馈至程序后，通过内置算法计算出车辆滞留时间及行人滞留时间并进行比较并进行周期时间分配

4) 结果输出：将软件计算处理后的数据结果反馈至红绿灯控制系统中。并实时调节信号周期及红绿灯时间具体情况。并由此完成对相位内各方向实时流量分析并完成红绿灯时间调节及分配。

## 5.2 算法实现

本项目设计选择开发环境较好,有 C/C++编译器,工程管理器,这种环境中可以开发使用范围较广的微处理器和微控制器,不仅可以有 8 位、16 位,也可以兼顾 32 位。开发新项目的用户能够比较熟悉地掌握,使用方便、便捷<sup>[16]</sup>。

根据以上思路及功能要求，软件算法设计如图 6 所示：

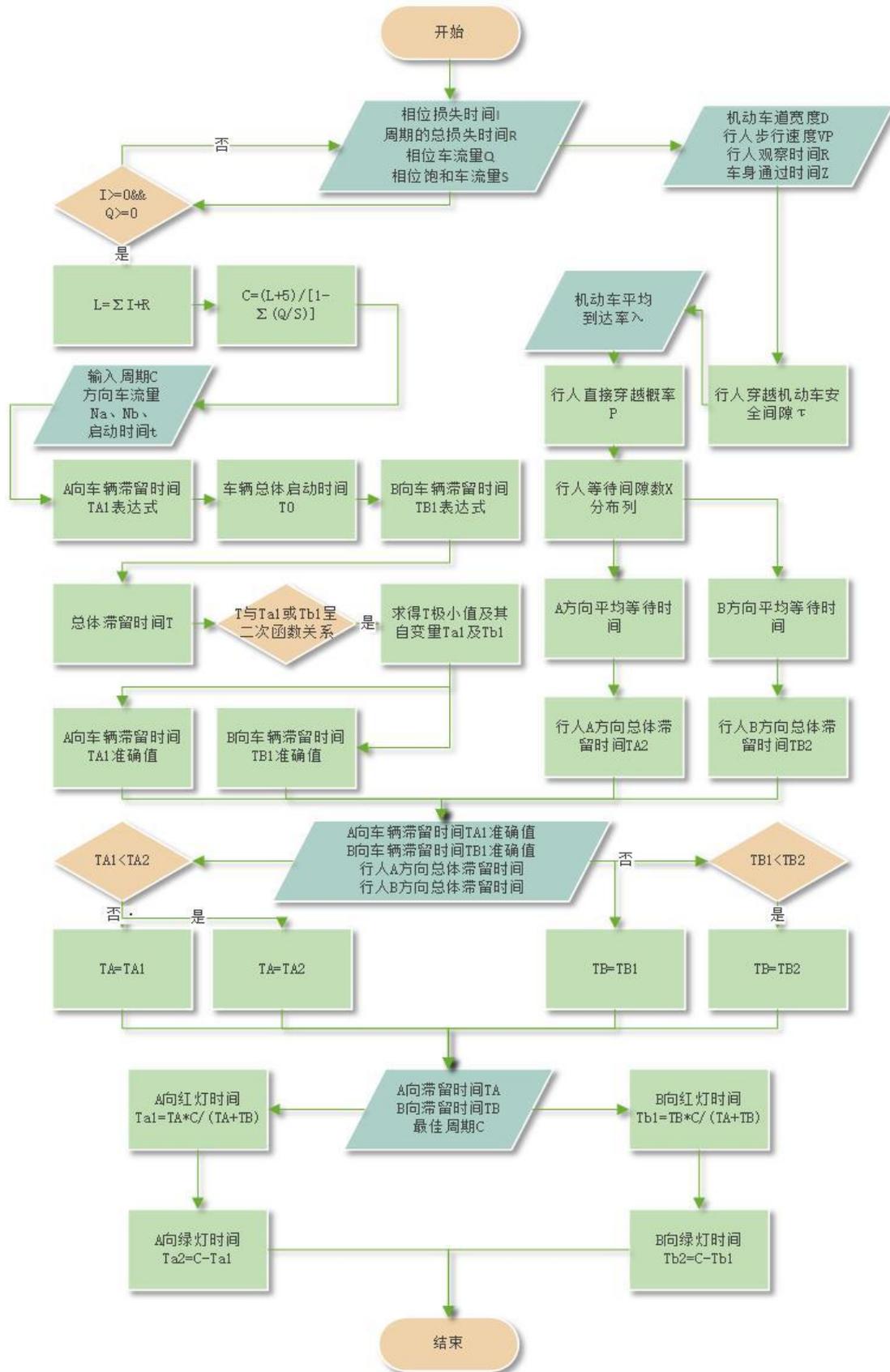


图 5-2 软件设计思路图

Figure 5-2 Software design idea diagram

### 5.2.1 信号周期设置

功能概述：通过三个相位损失时间得出一个周期内总损失时间量，然后计算绿灯间隔时间，再通过三个相位车流量得出相应相位的饱和车流量的，最后得出最佳周期。

部分算法如下：

```
int I = sum, R = 10, Q = Sum, S = 100, L, C;  
if (I >= 0 && 0 < Q / S < 1)  
{  
    L = I + R;  
    C = (L + 5) / (1 - Q / S);  
    printf_s("最佳周期为:%d\n", C);  
}
```

### 5.2.2 车辆滞留时间计算

功能概述：依据对照两个方向上的车流量，再通过车流量和车辆的启动损失时间得到不同方向上的红灯比例，根据比例得到相应的红灯时间，进而得到车辆总体停滞时间。

部分算法如下：

```
ta2 = (1 + t) * NB - t * NA;  
if (ta2 < 0)  
    ta2 = -ta2;  
ta1 = ta2 / (NA + NB) * C;  
tb1 = C - ta1;  
float TA1, TB1;  
TA1 = stoptime(NA, C, ta1, t);  
TB1 = stoptime(NB, C, tb1, t);  
printf_s("A 向车辆总停滞时间为%f,B 向车辆总停滞时间为%f\n", TA1, TB1);  
getchar();
```

### 5.2.3 行人滞留时间计算

功能概述：对机动车道宽度、行人过街速度、行人观察时间、车辆长度通过时间得出行人可安全穿越机动车的安全车间隙。再由车头时距、行人在一个间隙内不能过街的平均等待时间、加上行人流量得出行人滞留时间，以对上一部的车辆时间进行整合和优化，得出红绿等时间。

部分算法如下：

```
 $\tau = D / VP + R + l;$   
p_H $\tau$  =  $\exp(-1 * \lambda * \tau);$   
if (h >= 0)  
    f_h =  $\lambda * \exp(-1 * \lambda * h);$   
else  
    f_h = 0;  
float h_xA;  
h_xA =  $(1 / \lambda - (\tau + 1 / \lambda) * p\_H\tau) / (1 - p\_H\tau);$   
float M;  
cin >> M;  
float T_A;
```

$T\_A = M * h\_xA;$

cout << "该方向周期内行人总体滞留时间是" << T\_A << "秒.\n";

### 5.3 运行测试

基于以上程序设计，为测试各部分算法可效性与稳定性。对软件运行程度进行测试，以保证其稳定运行，软件测试部分包括三步，信号周期计算车辆滞留时间，计算行人滞留时间计算由于此软件将长期对象为数据进行监测<sup>[17]</sup>。因此，为避免单次计算出现意外各部分进行三次测试，测试结果如下：

表 5-1 信号周期算法测试结果

Table 5-1 Test results of signal period algorithm

数据	测试一	测试二	测试三
第一相位损失时间 I1 (秒)	20	30	28
第二相位损失时间 I2 (秒)	30	46	33
第三相位损失时间 I3 (秒)	12	43	40
一个周期内总损失时间 I (秒)	65	119	101
绿灯间隔时间 R (秒)	10	10	10
第一相位车流量 Q1 (辆/分)	30	20	36
第二相位车流量 Q2 (辆/分)	20	40	27
第三相位车流量 Q3 (辆/分)	30	33	18
相应相位的饱和车流量 S (辆/分)	100	100	100
最佳周期时间 C (秒)	80	134	116

表 5-2 车辆滞留时间算法测试结果

Table 5-2 Test results of vehicle dwell time algorithm

数据	方向	车流量 辆/分	启动损失时 (秒)	信号周期 (秒)	红灯时间 (秒)	总停滞时间 (秒)
测试一	南北	43	0.76	120	77.7	1081.8
	东西	79			42.3	588.8
测试二	南北	86	0.85	160	31.4	265
	东西	21			128.5	1085.3
测试三	南北	19	0.62	160	99.2	584.3
	东西	31			60.8	358.1
测试四	南北	45	0.56	110	53.1	576.8
	东西	42			56.9	618

表 5-3 行人滞留时间算法测试结果

Table 5-3 Test results of pedestrian residence time algorithm

数据	测试一	测试二	测试三
机动车道宽度 $D$	10	2	3
行人过街的步行速度 $V_P$	2	3	2.5
行人观察时间 $R$	1	0.5	0.7
车身长度通过时间 $l$	4	5	4.5
行人可安全穿越机动车的安全车间隙 $\tau$	10	6.17	6.4
机动车平均到达率 $\lambda$	0.2	0.7	1
行人到达要穿越车流时直接穿越的概率 $p_{H\tau}$	0.14	0.013	0.0016
行人等待的车辆间隔数 $x$	6.39	73.94	600.85
车头时距 $h$	2	3	4
行人在一个间隙内不能过街的平均等待时间 $h_{xA}$	3.43	1.35	0.99
该方向行人流量 $M$	5	4	7
行人滞留时间 $h_{xA}$	17.17	5.38	6.97

#### 5.4 结果分析

系统测试结果表明，每个功能模块端均能正常完成数据计算，并能正确处理接收的各类的数据，处理后的数据能够在算法内正常的进行使用和解析，同时算法能自行选择放弃误差较大或无效的数据，使用正常或准确的数据<sup>[18]</sup>；信号周期计算模块能够完成对北斗数据自动处理，滞留时间计算模块能完成对实测数据的判断以及对北斗数据的使用，最终完成反馈输出数据至控制系统的执行命令。

在 Pc 端网络连接正常的情况下，程序运行正常、服务器保持稳定，即可完成对各部分功能的正常使用。程序各部分经过多次运行测试，能够基本完成对数据的预处理及计算的算法需求<sup>[19]</sup>；能够完成项目的基本功能要求及易操作性的使用需求；软件运行无内存泄露及出错等情况，能够完成对稳定性的安全需求。

由此判断此程序运行可为相位信号周期进行合理分配。基于北斗卫星设计的交通信号周期时间分配计算软件，可自动计算区位内车人流量以分配各向信号时间。

## 5.5 功能实现



图 5-3 软件初始界面

Figure 5-3 Software initial interface

### 5.5.1 目标定位系统

软件中目标定位系统是以确定空间位置为目标而构成的相互关联的一个集合体或装置（部件）。这个系统可以保证在任意时刻，地球上任意一点都可以同时被至少 4 颗卫星检测<sup>[20]</sup>，以保证卫星可以采集到该观测点的经纬度和高度，以便实现导航、定位、授时等功能。（模型设计图 7 所示）



图 5-4 目标定位界面

Figure 5-4 Target location interface

### 5.5.2 数据采集系统

软件中数据采集系统主要是对车辆的运行参数进行检测，通过北斗导航卫星以及传感器等设备进行实时数据监测同时传输到后台，数据经过预处理以及

数据的集中，数据经过预处理之后将数据发送到不同的地方中心<sup>[21]</sup>，之后对检测数据进行分析计算。通过对不同路段车辆的分析处理，对于处理完的数据应符合需求，从而保证数据的可行性，同时数据采集模块需要预留足够的数据通信结构，从而便于日后进行功能扩展，满足不同智能红绿灯的应用需求，为系统升级提供基础保障。（模型设计如图 8、9 所示）



图 5-5 实测数据采集界面

Figure 5-5 Measured data acquisition interface



图 5-6 北斗数据采集界面

Figure 5-6 Beidou data acquisition interface

### 5.5.3 数据计算系统

系统中数据计算模块主要是对预处理数据进行计算并得出结果，通过以上特定算法及时有效地将合理的结果传输至控制台，结果将会规划该路段的红绿

灯时长，从而保证车辆快速通过，同时规划亮黄灯的时长及时间段，为智能出行提供便利<sup>[22]</sup>。（模型设计如图 10 所示）

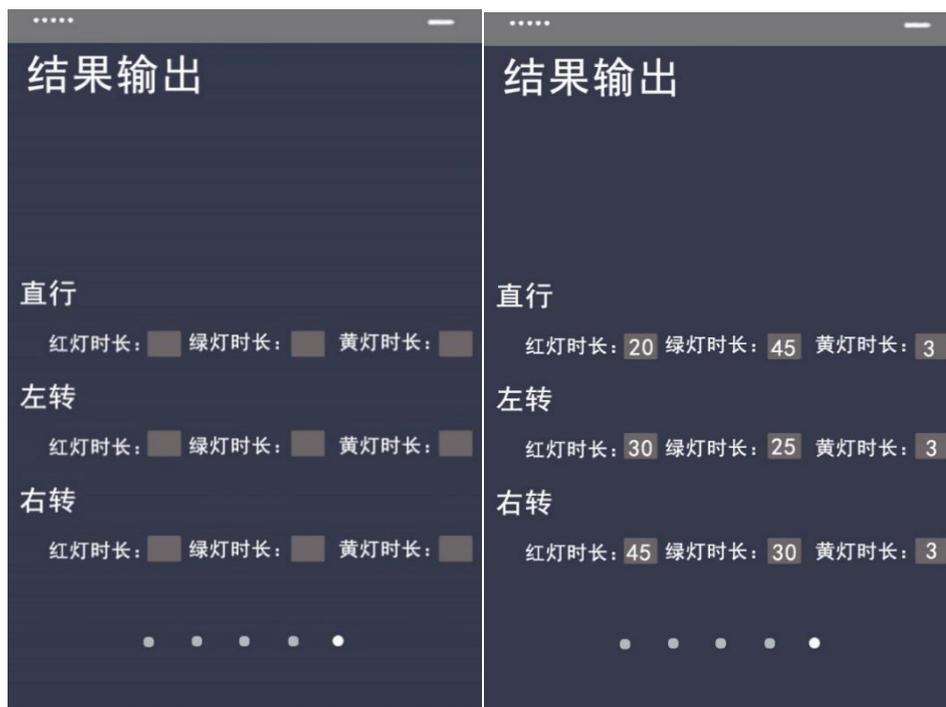


图 5-7 数据处理界面

Figure 5-7 Data processing interface

## 6 结论

本项目基于北斗卫星定位功能设计的智能交通信号灯系统，从整体上防止了交通拥堵，通过高度智能化和高度人性化有效地改变现有的交通灯控制车辆模式，实现车辆主导的交通方式，也协调好行人的过马路时间，极大地改善了目前的交通状况以及拥塞问题，基于北斗卫星获取动态调控智能红绿灯所需的交通参数也大大节约了经济成本，为智能红绿灯的普及助力<sup>[23]</sup>。同时，根据该项目的功能，可以启动许多基于北斗的扩展项目，例如与电子地图数据集成，与交通控制部门的合作等。经过测试，该系统仍不足以进行改进，控制系统对于当前交通流量的大小来判断当前交通信号灯的变化时间很难分析，需要经过多次实验才能获得最佳比例数据<sup>[24]</sup>。在车辆流量的监测中，考虑到车辆的速度和北斗卫星接收数据和传输数据的反应时间，为了获得非常准确的数据并提高安全性，算法设计仍需改进。

总体而言，本组已经成功完成了项目的初始目标功能，利用北斗卫星实现红绿灯的动态调控为北斗在交通方面的应用提供了新的可能。物联网时代的到来将给传统产业带来巨大冲击，交通信号灯管理的智能云管理将更适应当前的变革浪潮物联网技术的驱动将使人们的生活更加便

## 参考文献

- [1] 刘丽坤. 沈阳建设国家中心城市交通拥堵现状研究[J]. 中小企业管理与科技, 2020, (27): 116-117.
- [2] 杨鹏飞. 大城市交通拥堵治理研究[J]. 河南科技, 2020, (16):106-108.
- [3] 马勇平. 车流量检测技术及相关专利分析[J]. 科技视界, 2020(26):118-119.
- [4] 综合新华网、搜狐网. 北斗“芯”优势[J]. 今日科技, 2019, (10):10.
- [5] 孔金凤, 于德斌. 浅析我国北斗导航系统的发展[J]. 中国西部科技, 2014, 13(01):1-2+17.
- [6] 岳峰. 巴歇尔量水槽在汾河灌溉灌区 GIS 管理系统中的应用[J]. 山西水利科技, 2019, (4):84-87.
- [7] 杜聪慧, 高星伟, 马元, 王立敏, 董建军. 全国北斗地基增强系统服务软件的设计与实现 [A]. 中国卫星导航系统管理办公室学术交流中心. 第十一届中国卫星导航年会论文集——S02 导航与位置服务[C]. 中国卫星导航系统管理办公室学术交流中心:中科北斗汇(北京)科技有限公司, 2020:5.
- [8] 郑定超. 基于北斗定位短信的搜救 APP 设计与实现[J]. 新乡学院学报, 2019, 36(12):30-32.
- [9] 段里仁. 道路交通自动控制[M]. 北京:中国人民公安大学出版社, 1998, 502
- [10] 陈金康 十字路口红绿灯的合理设置[M] 浙江师范大学, 数学系 2020
- [11] 冯树民, 裴玉龙. 行人过街延误研究(哈尔滨工业大学. 交通科学与工程学院, 哈尔滨 15 0090).
- [12] 陈白磊. 城市行人交通研究[D], 同济大学土木工程学院, 2001.
- [13] 安萌萌, 樊秀梅, 蔡含宇. 基于雾计算和强化学习的交通灯智能协同控制研究[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(02):465-469.
- [14] 可识别车流量的智能红绿灯[J]. 中华建设, 2005(7):65-65.
- [15] M. Pedde, A. A. Szpiro, S. D. Adar, Traffic congestion as a risk factor for mortality in near-road communities: a case-crossover study, *Am. J. Epidemiol.* (2017).
- [16] L. Codeca, R. Frank, S. Faye, T. Engel, Luxembourg sumo traffic (lust) scenario: Traffic demand evaluation, *IEEE Intell. Transp. Syst. Magn.* 9(2)(2017)52–63.
- [17] Z. Li, M. Shahidehpour, S. Bahramirad, A. Khodaei, Optimizing traffic signal settings in smart cities, *IEEE Trans. Smart Grid* 8(5)(2017)2382–2393.
- [18] K. M. Ahmad Yousef, J. N. Al Karaki, A. M. Shatnawi, Intelligent traffic light flow control system using wireless sensor networks., *J. Inf. Sci. Eng.* 26(3)(2010)753–768.
- [19] B. Zhou, J. Cao, X. Zeng, H. Wu, Adaptive traffic light control in wireless sensor network-based intelligent transportation system, in: 2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference - Fall, 2010, pp. 1–5.
- [20] China Establishes Cultural Exchange Mechanisms with "One Belt and One Road" Countries[J]. 中外文化交流:英文版, 2015, 0(4):11-11.
- [21] 陈春先, 曲鸣飞, 辛义, 张丽. 基于 Spantan3E-100CP132 的红绿灯控制系统设计实现[J]. 科学技术创新, 2021(03):92-93.
- [22] 李邦训, 陈崇成, 黄正睿, 唐丽玉. 基于北斗与 ZigBee 的生态环境参数实时采集系统[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2019, 47(04):460-466.
- [23] 章有权. 智能变电站在线监测整合系统软件设计与功能实现[J]. 机械管理与开发 2020, 35(11):249-251.
- [24] 麻振华, 李建栋, 吴占兵, 王玉兰, 李鸿强. 十字路口智能红绿灯的研究[J]. 河北建筑工程学院学报, 2013(2):114-117.

---

## 反无人机巡逻车

作者：孙国瑄、王超达、丁添祺、张泽田

指导教师：高维廷、王平禄

学校：空军工程大学信息与导航学院

---

**【摘要】**：近年来，无人机技术得到长足发展，由于其智能化的控制以及低廉的造价，被广泛运用的运用于军事侦查，袭击作战等军事行动之中，并且效果显著。然而由于无人机具有低，小，慢的特殊性，往往难以被传统的探测系统与防空系统所捕获。随着无人机被用于侵犯隐私、恐怖袭击的事件越来越多，就越需要一种能实现对无人机进行有效反制的措施。为此，提出设计一种基于 raspberry pi 控制的反无人机巡逻车

反无人机巡逻车分运动目标探测与运动目标识别两步走实现对无人机的捕获追踪，利用基于帧间差分法与背景减除法的算法实现对无人机的探测，在此基础上，利用 Canny 边缘检测算法完成对无人机的识别。最终采取利用压制电磁波进行干扰阻断的方式实现对无人机的反制功能。

此设计采用 raspberry pi 作为控制单元，并安装射频干扰模块，北斗模块，机动模块与视觉模块，利用双线程程序运行分别控制行进与识别功能的实现。

经过实验论证，此设计能够满足无人机识别反制，北斗卫星定位，按规定路线行进的功能。

**【关键词】**：无人机反制，视觉探测，北斗定位，干扰阻断

**【Abstract】** In recent years, UAV technology has made great progress. Due to its intelligent control and low cost, it has been widely used in military operations such as military reconnaissance and attack operations, with remarkable effects. However, due to the peculiarity of low, small and slow UAV, it is often difficult to be captured by traditional detection system and air defense system. As the use of drones for privacy violations and terrorist attacks increases, the need for an effective countermeasure against drones will increase. Therefore, an anti-UAV patrol vehicle based on the control of RaspberryPI is proposed

The anti-UAV patrol vehicle can capture and track the UAV by two steps, which are moving target detection and moving target recognition. The algorithm based on inter-frame difference method and background subtraction method is used to detect the UAV. On this basis, the Canny edge detection algorithm is used to complete the identification of the UAV. Finally, it uses the suppression electromagnetic wave to block the interference to realize the countermeasure function of the UAV.

This design uses RaspberryPI as the control unit, and the installation of radio frequency interference module, Beidou module, maneuverability module and vision module, the use of double-threaded program run respectively control the travel and identification function.

After experimental demonstration, this design can meet the UAV identification and countermeasures, Beidou satellite positioning, according to the prescribed route

---

travel functions.

**【 Key words 】** UAV countermeasures, visual detection, Beidou positioning, interference blocking

---

## 1 绪论

### 1.1 背景与意义

北斗卫星导航系统的研发建设，脱离了依靠全球定位系统进行定位的局面，创造了让世人瞩目的“北斗”奇迹。北斗卫星导航系统是我国首次实现的全球卫星导航系统。北斗的建立满足了社会经济和国家安全的需求，可以为用户提供高精度、全天候定位成果。现已在众多行业中广泛应用，北斗在综合安防方面，可以通过定位系统寻路，通过载具携带设备，对目标附近进行综合防控。随着低空飞行的放开以及无人机功能开发的复杂性，各式各样的无人机已经使低空空域成分复杂化，造成威胁指数上升，管理困难。我们的作品通过车载反无人机装置，利用北斗导航系统导航功能，对指定区域进行巡逻管控，对入侵的无人机实施反制。

## 2 干扰捕获原理

### 2.1 无人机控制通信系统原理

无人机通过飞行控制系统实现无人机的各项功能。飞行控制系统包括IMU（惯性检测装置）和CPS模块两大模块。CPS模块负责实现无人机与互联网的交互，IMU是用于测量物体三轴姿态角（或角速率）以及加速度的装置，实现无人机的姿态控制。

### 2.2 干扰阻断法

干扰阻断法原理是通过压制控制无人机的电磁信号，使无人机接收到己方发射的无用信号，使无人机悬停坠落等。无人机的接收功率公式：

若已知参数  $P_t$  为发射功率； $G_t$  为发射天线增益； $G_r$  为接收天线增益； $P_r$  为接收机的接收功率； $L_f$  为自由空间损耗； $L_c$  为天线接口处的衰耗，可以忽略不计；

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_c - L_f \quad (2.1)$$

$$L_f = 32.45 + 20 \cdot \log(F) + 20 \cdot \log(D) \quad (2.2)$$

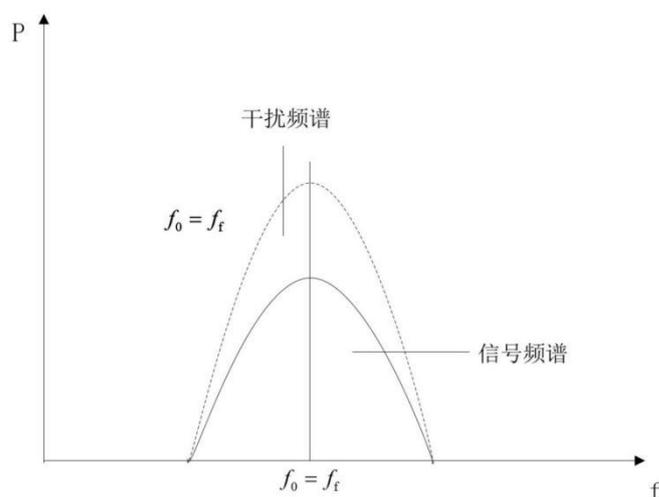


图 2-1 接受功率谱

当干扰功率大于接收功率，就可以有效压制有用信息，实现干扰目的。

## 2.3 目标探测

### 2.3.1 运动目标探测

基于视觉的运动目标探测目的是将正在进行运动的目标从视频中检测出来，以便于初始化目标状态，并为之后识别，控制与处理运动目标提供前提与基础。当今较为成熟，精确度较高的运动目标视觉探测方法主要有背景减除法与三帧差分法，其原理相较简明易懂，且得到了较为广泛的应用。

#### (1) 背景减除法

背景减除法是一种如今应用较为广泛的运动目标检测的算法。其基本思想为对于视频流初始的几帧不包括运动目标的图像进行灰度值的分段统计，从而建立起一个相对可应用的初始背景板。后将后续帧的图像与建立的初始背景板进行差分运算，对所得结果设定一定的阈值，结果中灰度值大于阈值的部分即可判定为运动目标部分。该算法原理便于理解，应用相对简便，在 Opencv 中也有相应的提供算法。

#### (2) 三帧差分法

三帧差分法为双帧差分法的改进型，是如今效果较好，应用较为广泛的一种帧间差分法。

其基本原理为：

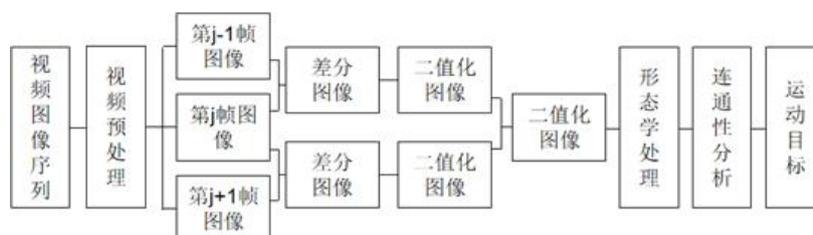


图 2-2 三帧差分法流程图

记视频中的第  $j-1$  帧，第  $j$  帧，第  $j+1$  帧的图像分别为  $I_{j-1}, I_j, I_{j+1}$ 。对这三帧图像进行灰度处理，记灰度值分别为  $f_{j-1}(x, y)$ ,  $f_j(x, y)$ ,  $f_{j+1}(x, y)$ 。

对相邻两帧的灰度值进行差分处理：

$$\begin{cases} D_j(x, y) = |f_j(x, y) - f_{j-1}(x, y)| \\ D_{j+1}(x, y) = |f_{j+1}(x, y) - f_j(x, y)| \end{cases}$$

设置合适的阈值  $T$ ，以对灰度差分值进行二值化处理：

$$\begin{cases} b_j(x, y) = \begin{cases} 1, D_j(x, y) \geq T \\ 0, D_j(x, y) < T \end{cases} \\ b_{j+1}(x, y) = \begin{cases} 1, D_{j+1}(x, y) \geq T \\ 0, D_{j+1}(x, y) < T \end{cases} \end{cases}$$

对两个二值化结果进行交集运算：

$$B_j(x, y) = b_j(x, y) \cap b_{j+1}(x, y)$$

在此二值化结果中，值为 1 部分则表示在此像素区域内检测到一定的运动目标，反之，则表明未检测到运动目标。

### (3) 综合改进方案

因为背景减除法与三帧差分法均有其一定的缺陷，故选择对背景进行积累处理更新背景图片的方式对背景减除法进行改进，并于三帧差分法进行结合改进，得到最终的综合改进方案

### 2.3.2 运动目标识别

在利用改进型的三帧差分法检测到运动目标之后，需要采取一定检测算法对图像进行一定的处理，以获取清晰的目标的边缘轮廓，有助于进一步的对运动目标进行识别与跟踪。为达到此目的，选择采取 Canny 多级边缘检测算法对图像处理

#### (1) Canny 多级边缘检测算法

该算法的运作过程如下：

先高斯平滑处理以保留目标主体部分，后对图像进行分别进行水平与垂直两个方向上的梯度计算，以计算梯度方向，对幅值进行非大值抑制处理，引入双阈值检测，最终精确边缘

#### (2) 模块匹配

在获取目标的边缘图像之后，利用模块匹配技术，与相似的预期目标图像进行对比，以实现目标的识别

## 3 硬件系统设置

### 3.1 射频干扰模块

此反无人机系统的主要部分即射频干扰模块，其核心原理在于对于无人机的主要控制通信信道上，利用干扰阻断法，发射大量同功率的的压制电磁波以压制无人机的控制信号，从而实现干扰。经过文献查阅，2.4GHz 和 5.8GHz 为目前流通的无人机所采用的主要频道，故选择这两个频率进行射频干扰。

该模块的硬件部分由双通道干扰源和六通道干扰源，以及相应发射模块组成。

#### (1) 双通道干扰源

双通道干扰源由 5.8GHz 与 2.4GHz 干扰源组成，实现对无人机与地面站台通信的干扰作用

表 3-1 双通道干扰源技术指标

频率	无增益天线的作用范围	输入功率
2.4G+5.8G	2-8 米	0.5W/H

(2) 六通道干扰源

六通道干扰源主要用于实现对于 WIFI、移动网络，GPS 信号的干扰，由六路天线与干扰源组成，实现辅助干扰。

表 3-2 六通道干扰源技术指标

输出端	工作频率	平均输出功率
天线 1: CDMA/GSM	870-960MHZ	27dBm
天线 2: WIFI	2380-2483MHZ	28dBm
天线 3: DCS	1805-1880MHZ	27dBm
天线 4: GPS	1575MHZ	28dBm
天线 5: 3G	2010-2170MHZ	27dBm
天线 6: 4G	2500-2600MHZ	27dBm

射频发射单元为 WIFI 阻断装置  
增益天线则选择对数周期天线与八木天线

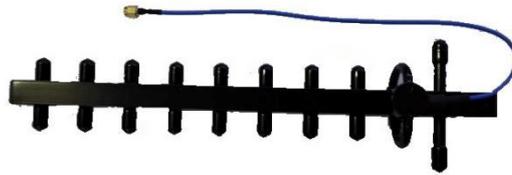


图 3-1 2.4G 八木天线



图 3-2 5.8G 对数周期天线

表 3-3 增益天线各项参数

发射频段	驻波比	增益	作用距离	阻抗
2.4GHZ 与 5.8GHZ	<1.5	16dB	约 100m	50Ω

3.2 北斗模块

对于预警探测类项目，定位一定是重要的一项功能，因为有了事故发生的地点，才能够做出更加精准的预防与保卫，才能将事故的损失降到最小。因此，选择采用中科微电子研发的北斗模块

3.3 控制单元

本系统主控单元采用树莓派— Raspberry Pi Model 4B，可以实现运算、软件编程、网页浏览等多种功能，拥有具有较较强的运算与图像的处理分析能力，对视觉模块的控制更加便捷快速，对视频图像的处理更加准确。

树莓派各项功能接口如下：

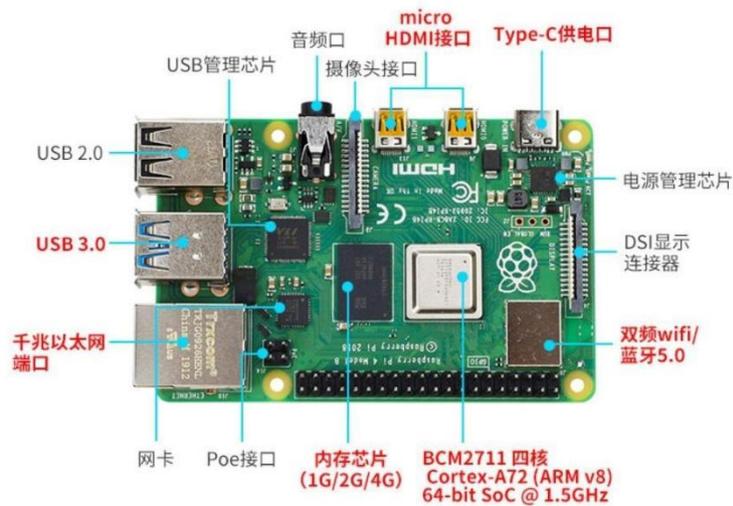


图 3-3 树莓派

树莓派作为一台处理器，无法直接驱动各硬件来实现相应的功能，需要同步配置一块拓展版来输出各路控制信号、驱动相应的模块。本装置使用的拓展板如下：

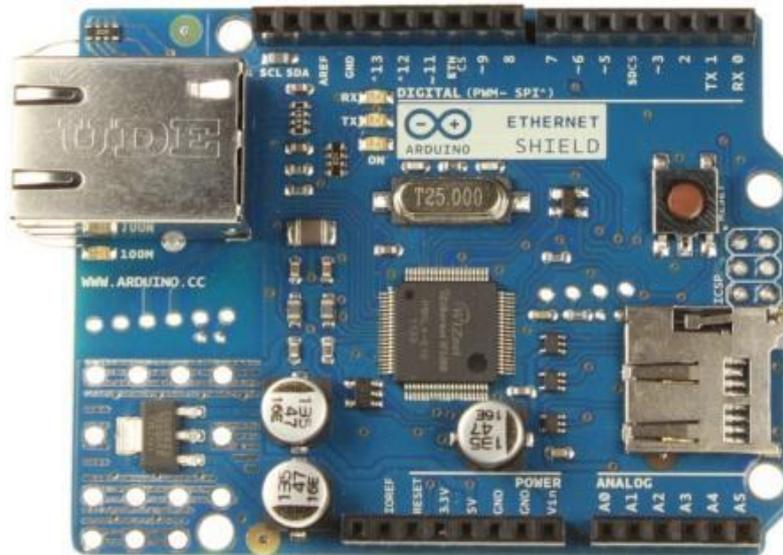


图 3-4 树莓派拓展坞

### 3.4 机动平台

机动模块包括车体结构、驱动系统与自主巡逻模块，是小型飞行器探测捕获最小安防系统的机动模块，它承担着实现对探测到的小型飞行器进行追踪、持续干扰的重要功能，并且是整个系统的动力来源。

体全身由亚克力板作为支撑，螺丝加固连接而成。以及生活中的一些包装箱体组成，不锈钢金属质地较脆，在钻孔后板子不会出现较大幅度的变形，性质较为稳定，质地也较为坚硬。在载具设计过程中使用模块化的思想，具体分为控制板、轮具、供电系统，线路清晰，便于后期功能检测，加装升级等

树莓派控制板

以 Python 为编程基础的树莓派嵌入式控制板，凭借其较高的兼容性与丰富的外设资源，被广泛应用于工程实践。载具模块以树莓派的控制板为控制中心，完成对舵机、轮具的编程与控制。

### 直流电机

直流电机是一个将输入的电能转换为输出的动能的一个器件<sup>[17]</sup>。使用树莓派嵌入式控制板，控制直流电机，驱动小车的转动。利用树莓派对电机进行编程操作，实现小车驱动功能。本系统采用 4 个直径 37mm 总长 73mm 的全金属减速箱 37 系列减速电机，可承载范围为 3-12 电压，堵转电流 1.4A，输出功率 1.3W。

### 3.5 视觉模块

该模块用于实现对无人机的探测捕获，利用 OpenCV 视觉识别库进行 Python 语言编程，烧录功能程序，通过摄像头对无人机图像采集分析识别，达到对其进行准确探测与追踪的目的。



图 3-5 拍摄摄像头

作为视觉探测模块的重要组成部分，拥有 30 万像素的二自由度云台摄像头，可以 480P 的分辨率进行视频图像录制。该摄像头可以通过 USB 端口与树莓派直接进行连接，将实时的视频监控图像传输到树莓派，同时利用树莓派对图像进行算法分析，得到空中的无人机目标图像特征，同时监测其飞行方向，达到捕获的目的，为实现无线电射频干扰工作提供基础。



图 3-6 摄像云台舵机

使用的摄像头固定于二自由度舵机云台，云台拥有两个舵机，每个舵机都可以进行水平方向与竖直方向四个方向的转动，此舵机转动角度均能达到 180 度，可以达到对入侵领空的小型飞行器的探测与识别。

## 4 实验验证与论证

### 4.1 无人机干扰阻断效果检验

利用实验小型四翼无人机靠近安防平台，在不同频率干扰源与干扰距离下进行对无人机阻断干扰，检查无人机受干扰后的反应。

记录分析实验结果，得出实验结论

干扰源开关	干扰源类型		实验距离 (m)	干扰效果	无人机受干扰后的反应
	2.4G干扰源	5.8G干扰源			
是否打开	关闭	关闭	20	无人机正常飞行	无人机正常飞行
			50	无人机正常飞行	无人机正常飞行
			80	无人机正常飞行	无人机正常飞行
			100	无人机正常飞行	无人机正常飞行
	关闭	打开	20	丢失图像信号	无人机无法捕获图像
			50	丢失图像信号	无人机无法捕获图像
			80	图像明显卡顿	无人机捕获模糊图像
			100	图像信号恢复	图像信号恢复
	打开	关闭	20	丢失控制信号	无人机坠落后
			50	丢失控制信号	无人机坠落后
			80	控制信号微弱	无人机反应迟缓
			100	正常控制无人机	正常控制无人机
	打开	打开	20	丢失图像和控制信号	无人机坠落后
			50	丢失图像和控制信号	无人机坠落后
			80	丢失图像和控制信号	无人机坠落后
			100	正常控制无人机	正常控制无人机

图 4-1 实验结果展示

综上所述，基于 Raspberry 的小型飞行器探测捕获最小安防系统能在实验条件对无人机进行有效干扰

#### 4.2 北斗位置定位实验

利用智能手机定位功能获得当地定位信息，与安防小车通过北斗系统获得的定位信息进行校对



图 4-2 小车定位展示



图 4-3 智能手机定位展示

记录分析实验结果，得出实验结论

综上所述，安防小车利用北斗模块获取的定位信息与智能手机定位信息基本一致，安防小车能在实验条件下有效利用北斗获取定位信息

### 4.3 规定路线行进实验

对安防小车编程规划前进路线，记录其实际行进路线



记录分析实验结果，得出实验结论

综上所述，安防小车实际行进路线与规划路线基本一致，安防小车能在实验条件下有效规定路线行进

## 5 总结

### 5.1 优缺点分析

对此反无人机巡逻车进行综合分析

得到其优点有：

该反无人机巡逻车造价相对低廉，易于大量生产。

该反无人机巡逻车依靠电磁压制干扰阻断原理进行无人机反制，无人机反制效果显著且副作用较小。

该反无人机巡逻车利用北斗定位进行规划路线行进，自主巡逻与驱敌性能较好，可部署于面积较大且人员密度较小的场所进行保卫工作。

---

得到其缺点有：

该反无人机巡逻车无人机识别基于视觉的目标识别匹配，无法对无人机进行敌我识别。

该反无人机巡逻车的机动平台基于专门为平坦场所设计的轮式机动平台，故在较为崎岖的地区行动会较为不便。

该平台的规划路线行进功能基于北斗导航系统，在北斗卫星信号较弱的区域将受到干扰。

## 5.2 改进措施

分析上述优缺点，在之后将对此反无人机巡逻车进行如下改进措施：

增设无线电广播模块，以实现在发现并驱逐无人机时发出广播警报功能。

将轮式机动平台改装为麦克纳姆轮机动平台，提高机动性能。

导入离线地图文件，实现离线巡逻功能。

综上所述，此反无人机巡逻车能有效实现无人机反制，北斗卫星定位以及规划路线行进功能，综合性能较好。

## 参考文献

- [1] 陈帆. 民用无人机治安风险防控探析[D]. 华东政法大学, 2018.
- [2] 柏如玉. 国内外反无人机技术发展分析[J]. 中国安防, 2016(09):31-34.
- [3] 赵时轮. 无人机危害及恐怖行为反制对策研究[J]. 中国军转民, 2019(06):15-20.
- [4] 郭珊珊. 反无人机技术与产品发展现状[J]. 军事文摘, 2016(19):36-39.
- [5] 张静, 张科, 王靖宇, 吕梅柏, 王佩. 低空反无人机技术现状与发展趋势[J]. 航空工程进展, 2018, 9(01):1-8+34.
- [6] 赵越. 民用小型无人机的干扰反制技术研究[J]. 科学咨询(科技·管理), 2018(12):55.
- [7] 朱泽坤. 无人机通信干扰系统前端研究[D]. 电子科技大学, 2018.

---

# 基于北斗定位的多功能便携式智能救生衣

作者：吴明泽、胡家瑞、刘雨松

指导教师：张伦东

学校：沈阳航空航天大学

---

**【摘要】**随着人们生活条件逐渐变好，漂流逐渐成为了人们娱乐方式之一。但与之而伴的是漂流中潜在的各种危险，但是传统的水上救生衣仅仅能在使用者落水后为其提供必要的浮力而已，已经无法满足如今更为复杂的各种救援场景。在应用北斗定位的工作原理基础之上，本设计以 STM32F103 单片机为主控板，运用温度传感器、北斗定位模块、显示模块、无线传输模块、报警和照明模块等相关技术实现定位、测温度、测海拔高度、测距离等功能，同时系统控制单元采用单片机进行处理与控制，结合北斗定位模块进行定位，通过分割导航三角形算法结合经纬度进行与地面已知点的距离测算。同时还进行水温的测量，并将一系列信息通过无线模块进行发送，无线模块采用 AS69-T20 无线模块，以实现落水者位置的及时确定。

**【关键词】**北斗定位、传感器、单片机、分割导航三角形

**【Abstract】**As people's living conditions become better and better, rafting has gradually become one of the ways of entertainment. However, it is accompanied by a variety of potential dangers in drifting, but the traditional water life jacket can only provide the necessary buoyancy for the user after falling into the water, which has been unable to meet the more complex rescue scenarios. In application of beidou positioning based on the working principle of this design by STM32F103 microcontroller as the main control board, temperature sensor, beidou positioning module, display module, wireless transmission module, alarm and lighting modules related technical implementation positioners, measuring temperature, altitude and distance measurement function, at the same time, the system control unit for processing and control by single chip microcomputer, Based on the Beidou positioning module, the distance between the known points on the ground and the segmented navigation triangle algorithm is calculated by combining longitude and latitude. At the same time, the water temperature is also measured, and a series of information is sent through the wireless module. The wireless module uses the AS69-T20 wireless module to realize the timely determination of the position of the drowning person.

**【Key words】**Beidou positioning, sensors, SCM, segmented navigation triangle

---

## 1 研究背景与意义

近几年人们生活条件逐渐变好，在忙碌的都市生活中，人们一直在寻找着一种激动、一种区别于平凡生活的独特感受。就是这样一种感受，使都市人为之倾倒，使漂流成为生活的一部分。漂流运动从五十年代起在中国开展，并在短时间内取得了很大的进步，据统计全国共有漂流一百多个，游乐园内小型漂

流场则数量更多。但与之而伴的是漂流中潜在的各种危险，如进行野外漂流时所面临的落水、地理位置偏僻无线手机信号覆盖不到不便救援等风险，所以为了应对复杂多变的野外水上场景和潜在的各种风险，水上救生衣成为野外探险者、漂流爱好者必备的救援装备之一，但是传统的水上救生衣仅仅能在使用者落水后为其提供必要的浮力而已，已经无法满足如今更为复杂的各种救援场景。所以为了更好的保证探险者及漂流爱好者的安全，越来越需要设计一款全方位多功能的水上探险救生系统。本设计不仅可以运用在小型湖泊、河流或游乐场泳池等危险系数较低的场所，还可以在例如野外湖泊、河流进行游泳、划船、户外探险、漂流等野外危险系数较高、地形较为复杂、发生意外不便救援的场景。一旦发生落水等危急情况，可通过各类传感器完成相关信息的数据采集任务，液晶屏实时显示经纬度、距离、海拔以及水温等信息；卫星定位模块用于检测经纬度位置信息，并通过无线传输模块向救援平台发送位置、距离以及水温等重要信息，救援平台上位机软件实现数据远程通信和接收、显示存储，给予施救人员落水点信息，对落水者给予救援，提高施救效率。

## 2 系统总设计

本系统的设计要求能够实现定位、测温度、测海拔高度、测距离等功能，且能够实时显示且能将数据传输回安全监测站，针对以上所需功能，所以将各个功能模块化。

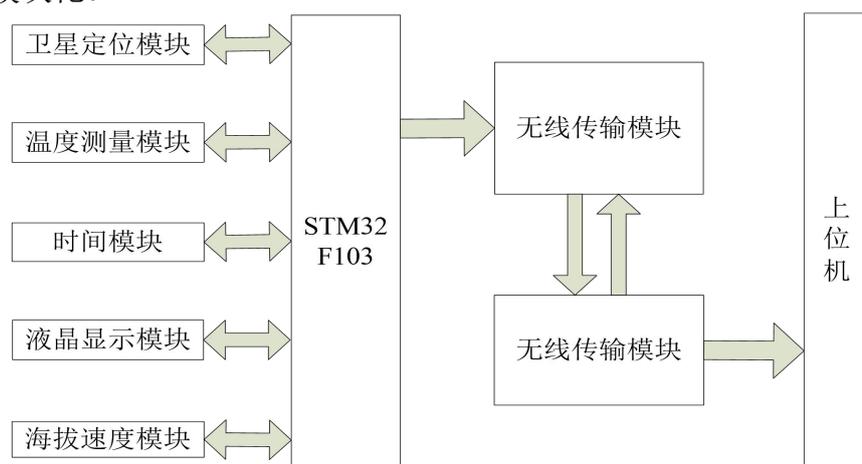


图1 系统总体结构框图

本系统体系实地应用应由安全监测站，救援站，救生衣三者相互结合工作以保证人员安全。



图2 漂流场地应答处理图

意外应答处理：如果意外发生，漂流者大意落水，人们可以通过按动救生衣的求救按钮向安全监测站请求救援，或者本救生衣自带落水检测系统，向监测站发送求救信号。安全监测站安装有总定位装置，可以实时显示每个救生衣的位置，并对接收到的求救信号进行应答处理，通过传呼机等设备第一时间通知距离意外发生地最近的救援人员前往救援，以保证救援的时效性，高效性，安全性。

同时系统控制单元采用单片机进行处理与控制，结合北斗定位模块进行定位，并利用其模块内部自带的测海拔、高度、速度等功能，通过分割导航三角形算法结合经纬度进行与地面已知点的距离测算。同时还进行水温的测量，并将一系列信息通过无线模块进行发送，无线模块采用 AS69-T20 无线模块，其内部 nRF 类型的无线模块，AS69-T20 模块内部自带 SPI 协议，通信方式为串口通信，所以极大的简化了通信程序。

### 3 救生衣及硬件设计方案

#### 3.1 单片机的选择

对于系统的主控板我们主要分析比较了 51 单片机、MK60 和 STM32F103。51 单片机操作简单，但内部的硬件支持电路也较少，且处理速度较慢，内存空间较少，而且只有八位，不适合进行大量的浮点数运算。MK60 运算速度快，其运算速度可达 150MHz，且为 32 位的单片机，但其内部的固件库不是底层的固件库，有很多版本，不方便移植。STM32F103 为 32 位单片机，内部接口电路较齐全，且运算速度快，代码移植方面较为方便。考虑到本系统中较多用到浮点数计算，尤其是在利用经纬度测算距离的时候，需要计算到小数点后八位，且较多的用到三角与反三角函数。综上所述，选用 STM32F103 单片机做为本设计方案的主控板。

#### 3.2 5V 电源电路设计

由于无线通信模块供电为 3.3—5.5V，随着电压升高，发射功率也随之提高，传输距离也不断提高，所以选择 5V 为无线串口模块供电，且 5V 为常用电源。

5V 电源由于负载功率相对较低所以选择线性稳压电源芯片，考虑到板子的体积大小，所以选择 LM2940-5V 线性稳压芯片。其设计接口简单，只需要在输入引脚处增加旁路电容即可。5V 电源电路如图 3 所示。

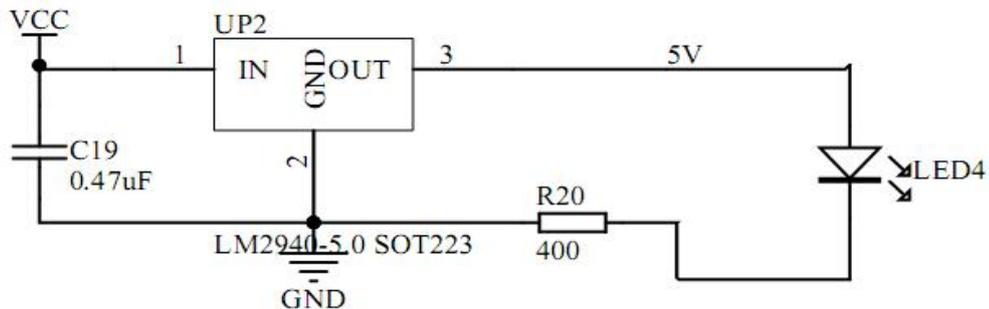


图 3 5V 电源电路

#### 3.3 3.3V 电源电路设计

3.3V 电源为嵌入式常用电源，其中 STM32F103、UM220-N-3 卫星定位模块、以及 DS18B20 温度传感器都需要 3.3V 供电。由于负载较多，且功耗相对

较小所以选择线性输出稳压电源，本设计选择 ASM-1117 低压差线性稳压电源，其输出电流为 1A 满足供电所需。其电路设计相对简单，只需要在输入输出引脚接旁路电容，在输入和输出引脚各选择一个 47 $\mu$ F 的铝极性电容和一个 0.1 $\mu$ F 的陶瓷电容。因为其输入电压为 5V，恰好为 5V 供电的输出所以两个电源之间只需要两个旁路电容即可。且在输出引脚并联一个电源指示灯。3.3V 电源电路如图 4 所示。

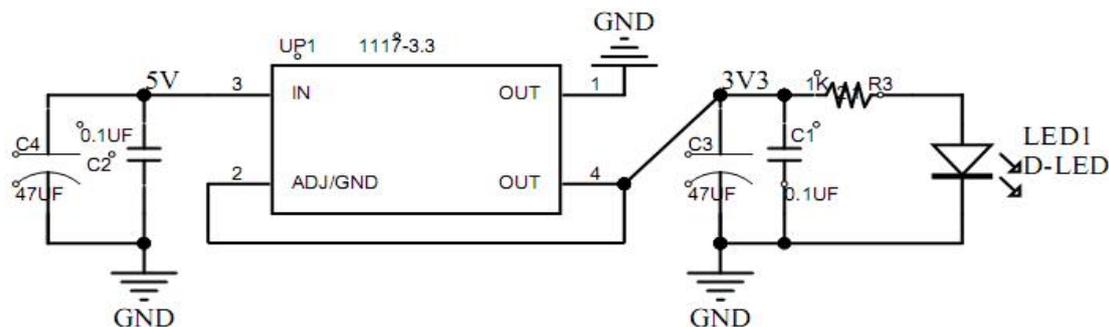


图 4 3.3V 电源电路

### 3.4 太阳能充电

本设计在已有的锂电池基础上增加了太阳能充电电路，可实现在适当光照的情况下利用光伏发电原理，将太阳能转化为电能，并通过转换电路实现为锂电池充电的目的，达到延长救生衣电量使用时间的效果，太阳能充电电路如图 5 所示。

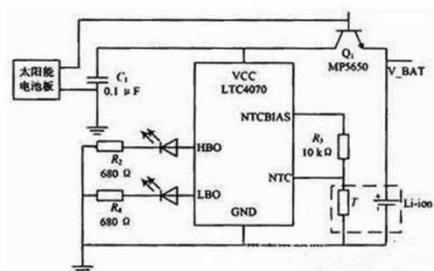


图 5 太阳能充电电路

### 3.5 温度传感器的选择

由于本设计的系统工作环境在水中，所以采用具有防水型号的 DS18B20 来测量温度，而且 DS18B20 为三线制，占用引脚较少，虽然其通信协议较为复杂，但是 32 位单片机处理速度足够满足其程序运算，所以选用 DS18B20 温度传感器测温。

### 3.6 定位模块的选择

本设计中采用卫星定位，市面上可供选择的定位模块主要有野火公司的 ATGM-332D、NEO-6M 和和芯通讯公司的 UMN-220。由于前两个模块需要出厂前提前配置好输出什么信号，采用什么信号定位，而 UMN-220 自带上位机可配置模式，所以选用 UM-220-3 芯片，其可以选择 GPS、北斗或者 GPS 北斗双模输出。且其信号输出方式为串口通信，协议为 NMEA-0183 协议，此协议网上有开源的固件库可以直接调用，如果是采用北斗信号的话只需要做适当修改即可。其具有精密授时、定位、海拔高度、速度等信息。支持差分定位功能。

选用超低功耗设计，其最大功耗小于 120mW，适于对供电要求比较严格的便携嵌入式应用。而且重量轻，体积小。

北斗定位模块采用 UM-220-N，其内部电路如图 6 所示，由图可得知，此模块可用串口通信也可用 SPI 通信，同时还支持 I2C 通信。其中 SPI 通信速度快，可达到 20Mb/s，串口通信速度相比较慢，但由于其串口通信内容格式为 NMEA0183 协议，其输出频率较慢，所以串口通信速率完全可以满足采集速率，同时此模块采用 3.3V 供电，其接口电路如图 7 所示。

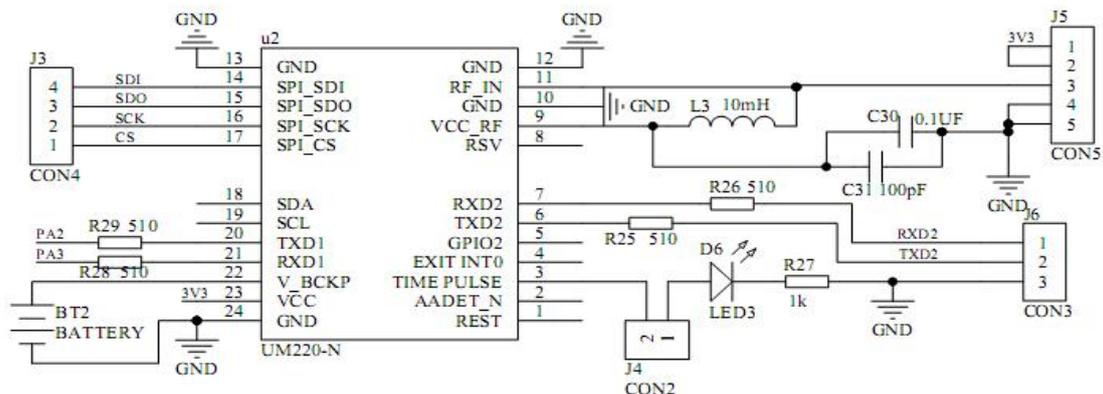


图 6 UM220-N 电路

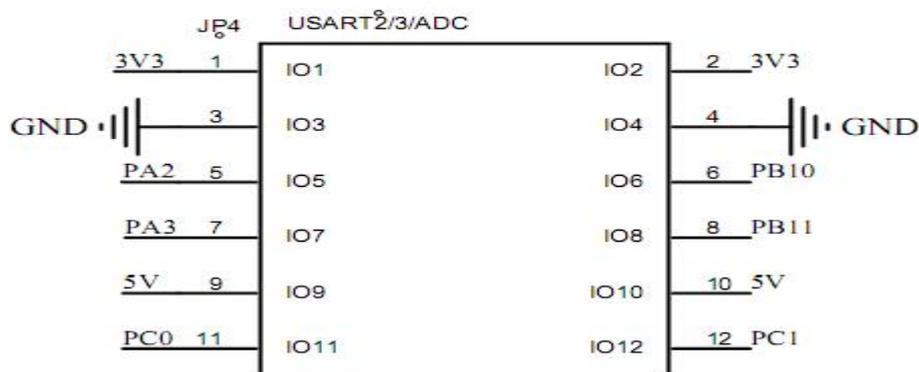


图 7 串口 2/3 接口电路

### 3.7 显示模块的选择

显示器选用液晶显示屏，功耗低，市面上常见的有以下几种：LCD1602、LCD12864、3.2TFT 液晶显示器以及 0.96 寸 OLED 小液晶，其中 OLED 通讯格式为 I2C 通信，采用四线制，功耗低，体积小且显示范围大，所以采用 OLED。

OLED 采用 I2C 通信，由于 STM32F103 内部自带 I2C 接口以及所需的上拉电阻，所以不需要外加器件，只需要将引脚引出即可，程序中 I2C 需要用到四根线，分别为电源线、时钟线与数据线。其中时钟线 SCL 为 PB6，数据线 SDA 为 PB7。其电路如图 8 所示。

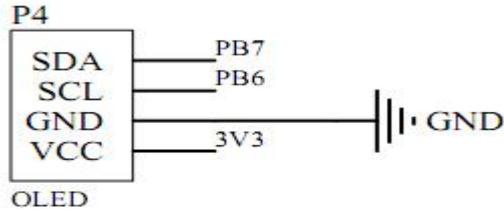


图 8 IIC 接口

### 3.8 无线传输模块的选择

市面上可供选择的无线模块有以下几种：蓝牙、WIFI、2.4GHz、GSM、4G 以及 zigbee。其中蓝牙传输距离较短，仅在十米左右，zigbee 传输距离也仅为一百米左右，距离太短所以舍弃。GSM、4G 传输距离较远，而且现在 2G 与 4G 的基站数量相对较多，信号覆盖面较完整所以距离可以很远。2.4GHz 技术传输距离也在几百米到几公里不止，且通信方式较为简单。而 GSM 与 4G 技术需要入站且需要 SIM 电话卡需要收费。所以综合考虑选择 2.4GHz 通信。

本设计采用的无线模块为 AS69-T20，此模块内部为 nRF 类型模块，通信方式为 SPI 协议，但为了方便性，此模块在原来基础上外加转换电路，设计了串口通信的接口，避免了 SPI 协议的复杂性，在使用时可通过上位机进行配置参数，可进行透明传输模式也可以进行广播模式，或者进行对码模式，在本设计中我们采用透明传输模式，即信道相同即可互相传输此模块实物图如图 9 示。



图 9 无线模块实物图

### 3.9 报警按键和照明电路设计

本系统可用于 24 小时全天候使用，所以在夜晚时需要增加照明系统，同时在发出求救信号时也可以通过位于两肩处的 LED 灯带交替闪烁红白光来帮助救援人员定位，灯带采用工业级滴胶处理防水的 LED5730 贴片模组，具有亮度大、功率低等特点。报警求救电路采用按键设计，当按下按键时则会变为求救状态并发出求救信号，照明电路采用两个高亮的 LED，按键则采用不同的按键接法即可，当按下时为低电平，松开时高电平。其电路图如图 10 所示。

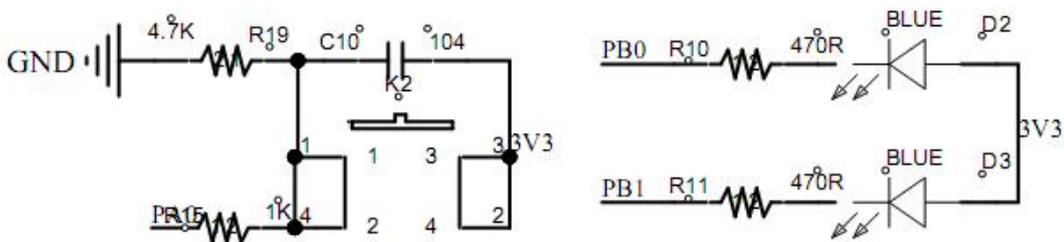


图 10 照明和报警按键电路

## 4 安全监测站软件设计方案

### 4.1 软件整体设计

考虑到系统的总任务量较小，且单片机的处理速度很快，同时考虑到功耗问题，所以程序采用裸机方式，不挂载系统。整个系统采用顺序结构，首先进行 DMA 串口采集，当采集一半的数据后进行数据处理，同时 DMA 采集另一半，在处理时，首先进行经纬度、时间日期以及高度和速度的信息解算，然后通过经纬度进行距离的测算，在测算完之后进行温度的采集，然后将以上信息发送到液晶屏显示并进行无线通信发送到上位机。系统程序总流程图如图 11 所示。

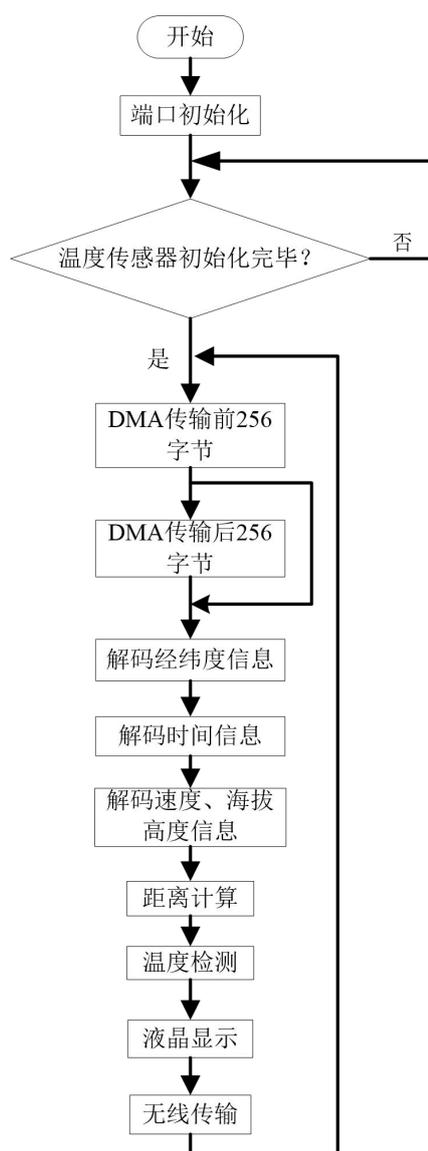


图 11 系统程序总流程图

### 4.2 定位信息的采集

卫星定位模块采用串口通信，但其内容格式为 NMEA0183 协议格式，其协议较为复杂，但对于经纬度、时间、海拔高度和速度等量的采集只需要解码其中几条语句即可，同时由于 STM32F103 的通用性，可以找到开源的解码库，

其库函数的输入为一条字符串，所以为了方便，同时提高工作效率，选择 DMA 读取，且设置缓冲区，直接将其内容读取到字符串中进行解码，同时由于 DMA 的单独工作特性，可以进行“乒乓操作”，即读取缓冲的一半时便进行协议解析，在解析的同时读取另一半，由于 DMA 不占内存，所以可以做到“同时”。在采集完数据之后，利用 NMEA0183 解码库对其解码。

### 4.3 距离测算

#### 4.3.1 距离测算设计方案

由于通过定位信息可以得出经纬度，所以可以利用天文导航中的导航三角形来进行球面角的获取，进而得到需要测距两点的大圆弧角距，这样利用地球半径的可以得到距离。由球面三角形知识可知，在球面上两点之间的大圆弧距离最短，虽然地球是个不规则的椭球体，但在精度要求不高的情况下可以把地球近似为一个球体，进而可以以球体为已知条件计算距离。

#### 4.3.2 球面三角形和球面直角三角形

同平面三角形一样，球面三角形也由三条边和三个夹角组成，统称为球面三角形的六个元素。但是，球面三角形是球面的一部分，而且它的三条边不是直线而是大圆弧，如图 12 所示。

球面三角形的边和角的函数关系：球面三角形的任一条边都可以看作是角，即在球心测得的相邻顶点之间的角距离。球面三角形的边为其大圆弧的角距。角和边之间的几何关系可通过边的正弦定理、边的余弦定理、角的余弦定理、纳比尔类推、高斯公式来描述。

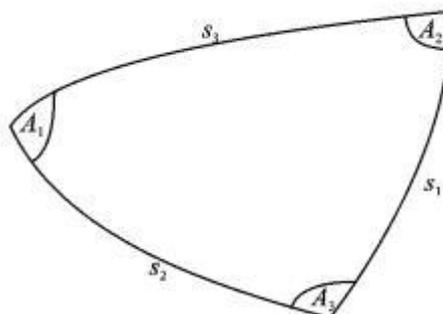


图 12 球面三角形

当球面三角形的一个角为直角时，问题便相对简单，如图 13 所示。利用纳比尔记忆规则，只要已知球面直角三角形六元素中的任意两个值（不包括直角），就可以推出其他三个未知值。球面直角三角形中，直角的两边 ( $s_1$ ,  $s_2$ )、其余两角 ( $A_1$ ,  $A_2$ ) 的余角以及直角对边 ( $s_3$ ) 的余角可组成一个分为 5 个扇区的盘，如图 14 所示。

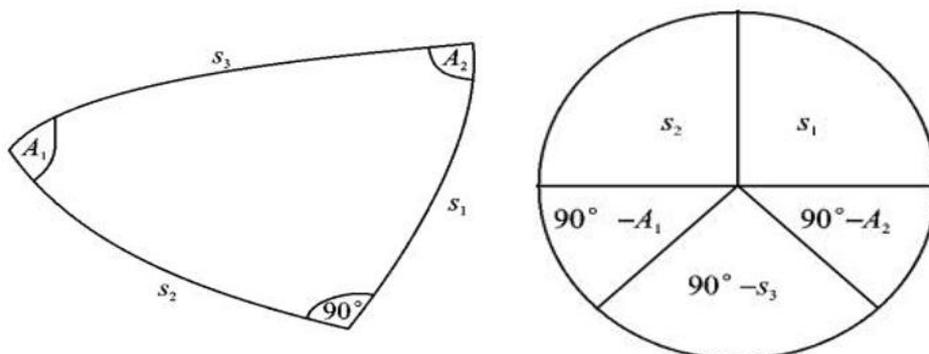


图 13 球面直角三角形      图 14 纳比尔记忆规则（大字形法则）

纳比尔记忆规则（大字形法则）：盘图中任一部分的正弦值等于其相邻两部分正切值的乘积，也等于对面两部分余弦值的乘积，即

$$\left. \begin{aligned} \sin s_1 &= \tan s_2 * \cot A_2 = \sin A_1 * \sin s_3 \\ \sin s_2 &= \cot A_1 * \tan s_1 = \sin s_3 * \sin A_2 \\ \cot A_1 &= \cot s_3 * \tan s_2 = \sin A_2 * \cos s_1 \\ \cos s_3 &= \cot A_2 * \cot A_1 = \cos s_1 * \cos s_2 \\ \cos A_2 &= \tan s_1 * \cot s_3 = \cos s_2 * \sin A_1 \end{aligned} \right\}$$

### 4.3.3 分割导航三角形测距

导航三角形是地球表面上由北极 N、观测者假定位置 AP 和天体投影点 GP 构成的球面三角形。所有的天文导航都是在此基础上完成的。本设计虽然不是利用天文导航，但依然可用导航三角形来求解其中的所需要的边来求解距离。常用的求解导航三角形的方法是过 GP 点构造一个大圆弧与本地子午线垂直相交于 X，这样就能将导航三角形分割成两个球面直角三角形。图 15 中两个直角三角形分别为为  $\triangle GP-X-N$  和  $\triangle G-X-AP$ 。辅助量 R 和 K 是计算 z（或 Hc）和 Az 的中间量，K 为 X 到赤道的角距离。其中 z 即为所求的角距离，角距离换算成弧度乘以地球半径即可得到距离。其中 z 为大圆弧。这两个三角形都可以通过纳比尔记忆规则求解，如图 16 所示。

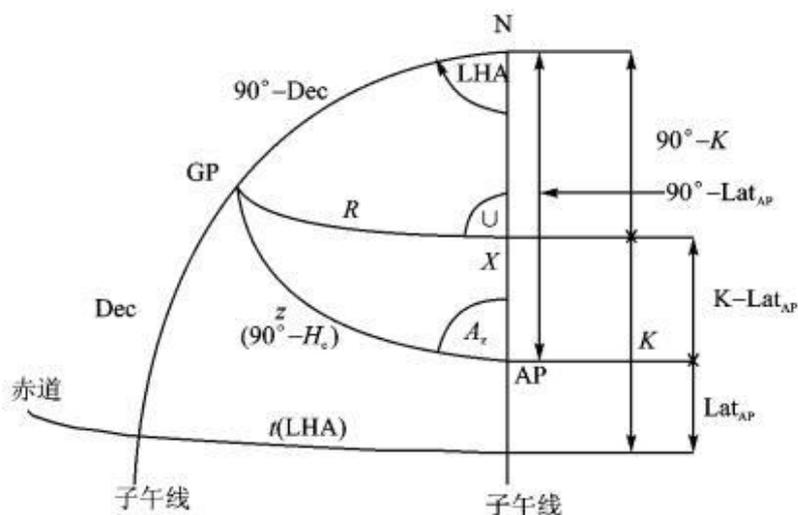
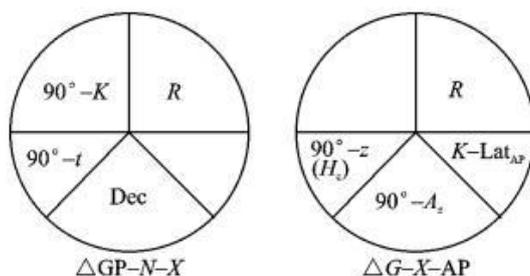


图 15 分割导航三角形



### 图 16 那比尔记忆规则（大字形法则）

根据那比尔记忆规则，Hc 和 Az 可通过下列公式计算得出：

$$\sin R = \sin t * \cos Dec \Rightarrow R = \arcsin(\sin t * \cos Dec)$$

$$\sin Dec = \cos R * \sin K \Rightarrow \sin K = \frac{\sin Dec}{\cos R} \Rightarrow K = \arcsin \frac{\sin Dec}{\cos R}$$

当 $|t| > 90^\circ$ （或 $90^\circ < LHA < 270^\circ$ ）时，式(4-4)中的 K 用 $180^\circ - K$ 代替。

$$\sin H_c = \cos R * \cos(K - Lat_{AP}) \Rightarrow H_c = \arcsin[\cos R * \cos(K - Lat_{AP})]$$

在求得 Hc 后 z 即可得。此时 $z = 90^\circ - H_c$ 为大圆弧角距，地球虽然是个椭球体，但其扁率计算起来复杂程度较大，且精度要求不高所以可以忽略，通过扇形公式可计算出大圆弧长 S：

$$S = z * \frac{\pi}{180} * R$$

其中 R 为地球半径等于 6373km。

#### 4.4 液晶显示与无线通信

为了提高系统的处理速度，每次采集完数据之后便立刻进行液晶显示与无线传输，为了与上位机正确通信，所以按照事先约定好的格式发送。由于无线模块采用串口通信方式，所以直接将数据发送到串口即可，同时为了方便，先统一转换成字符串形式，不仅可以使串口的发送与上位机的接收处理起来容易，而且 OLED 液晶屏也支持字符串发送，所以串口与液晶显示用同一个字符串，这样可以减小转换字符串所需要的时间，同时为了节省内存，系统只定义一个字符串局部变量，所有数据的转换统一用一个字符串

液晶采用 OLED 小液晶屏，通信格式为 IIC 通信协议。由于 STM32F103 的通用性，所以可以找到开源的代码库，使用时直接初始化并调用函数即可，本设计中用到的 OLED 可以显示汉字与英文，为了节省空间，选择英文显示，且选择小字号，这样可以显示八行字符，正好能够满足温度、时间、距离、经纬度、高度和速度。使用过程如下：首先进行单片机 I2C 端口的配置，然后进行 OLED 的初始化，然后再进行全亮以及全灭的自检，在进行完上述步骤之后，可直接调用 OLED 显示字符串函数 OLED\_ShowStr（unsigned char x, unsigned char y, unsigned char ch[], unsigned char TextSize）进行显示，由于其输入为字符串，所以在显示之前先将需要显示的内容转换成字符串，此过程调用标准 C 库函数 sprintf。其转换以及显示程序（温度）如下图。

```
sprintf(str_buff, "temp: %.1fC %1d", temp_1, alert); //温度转换成字符串  
OLED_ShowStr(0, 0, str_buff, 1); //显示函数。
```

#### 4.5 温度检测

由于每次采集并解算完定位信息以及测算距离后都需要更新显示与无线传输，所以将温度检测模块也放到定位信息解算模块中，在温度测量完之后同时更新显示并无线发送到上位机，这样便于数据的打包也便于解算。同时，本系统所用 DS18B20 温度传感器有两种模式，为匹配 ROM 模式和不匹配 ROM 模式，本设计中只用了一个此类传感器所以可以跳过匹配 ROM 进行温度读取。同时此传感器在初始化时需要应答信号来表示初始化完毕，所以为了保险起见将初始化标志放在 while 循环中，同时为了防止传感器损坏而造成的系统工作不能正常进行，所以增加初始化十次条件，当初始化十次结束后，不管传感器

是否正常工作，都将往下进行定位、时间信息采集和距离测算等程序。DS18b20 温度读取流程图如图 17 所示。

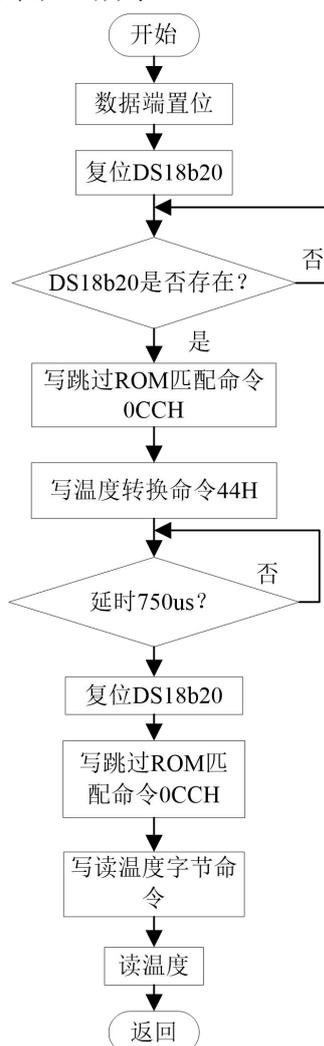


图 17 DS18b20 温度读取流程图

#### 4.6 无线传输

由于需要发送到上位机显示，且通过串口进行传输所以需要预先规定好格式，由于 LABVIEW 中自带字符串检索功能所以实现起来容易得多，规定格式如下，起始字符为 \$BD，然后发送时间，时间格式为年月日时分秒，每个量占用两个字符，然后分别发送经度、纬度、高度、速度、距离、报警和温度，最后以 END 结尾。

为了节省资源，增加处理速度，采用解码即发送，发送再液晶显示。由于都采用字符串发送，所以一次发送 88 个字节，同时由于选用的无线模块为串口通信，所以只需要将字符串发送到串口即可，本设计中已对 C 语言中的 printf 函数进行改修改，使用 printf 函数可直接将内容由串口 1 发送，所以在本设计中用到串口 1 发送的内容全由 printf 函数实现。其流程图如图 18 所示。

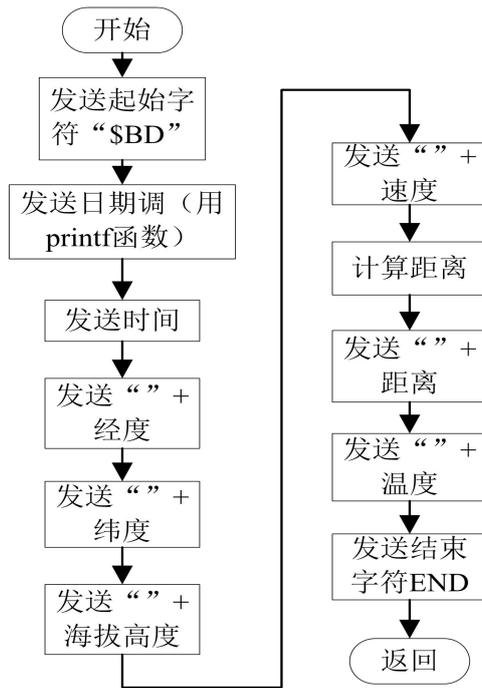


图 18 无线通信流程

#### 4.7 安全监测站显示前面板设计

显示部分在温度，速度，距离上除了数据显示外，还加图表显示，使数据更形象生动。同时增加波形显示控件 XY Graph.vi 实时显示经纬度，并连线描绘出移动路径以及增加布尔型控件显示报警。由于 XY Graph 控件为静态显示，只能显示单个点，所以为了实现动态显示，建立两个数组，将每次获取的经纬度插入到数组中去，利用移位寄存器在每次采集到经纬度时使数组标号加一，作为数组的索引，在每次打开时先清零。在显示中实际是显示数组的所有点，进而实现了二维动态显示，描绘轨迹。同时由于第一次解码获得的经纬度为字符串形式，而图表控件的输入量为浮点型数据，所以还需要进行二次解码获得浮点数类型的经纬度。显示部分及前面板如图 19、图 20 所示。

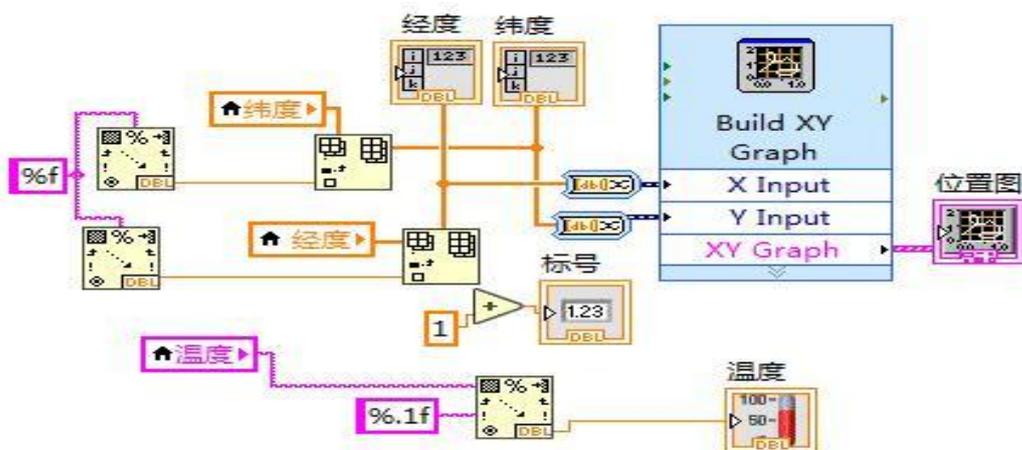


图 19 显示部分

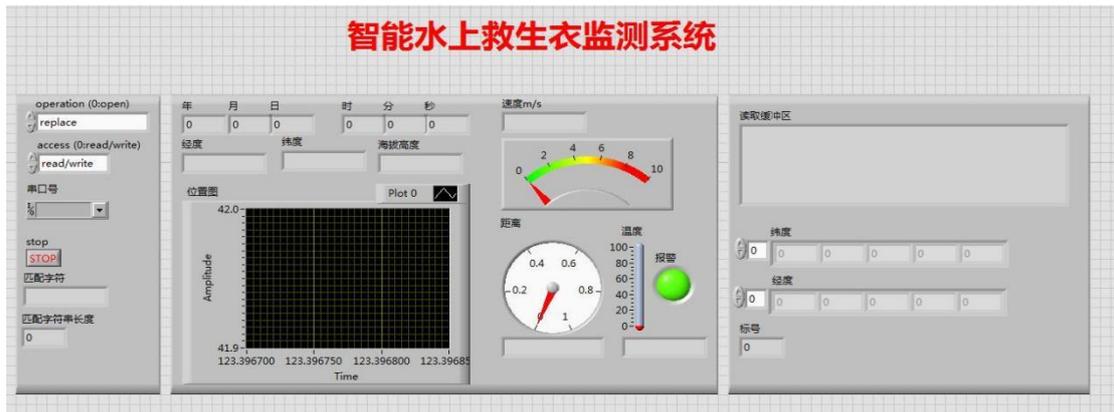


图 20 前面板

## 4.8 救生衣系统调试与结果

### 4.8.1 硬件调试

硬件电路设计完成后已经进行过测试，功能可以实现。其中电源部分功能正常，3.3V 与 5V 电源供电正常，并且能够保证最小系统，液晶显示，卫星定位模块以及无线通信模块的正常使用。其测试结果如图 21 所示。

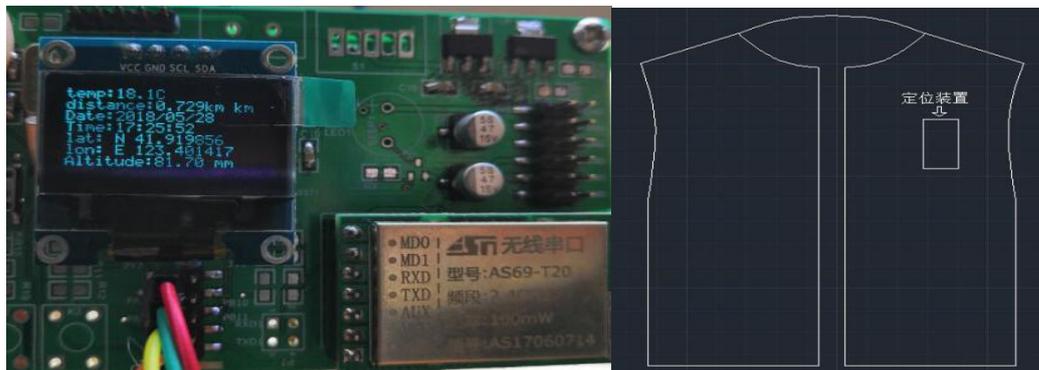


图 21 硬件调试

### 4.8.2 软件调试

由于本文中的设计最开始需要验证算法以及程序能否正常运行，所以最初是在开发板上进行测试的，由于开始没有制作上位机，用串口调试助手验证无线通信的状况，在定位功能测试完毕之后，加上无线通信模块进行测试，验证其基本通信功能，通过串口调试助手进行测试，串口助手接收到的数据与下位机发送的数据一致，其测试结果如图 22 所示。

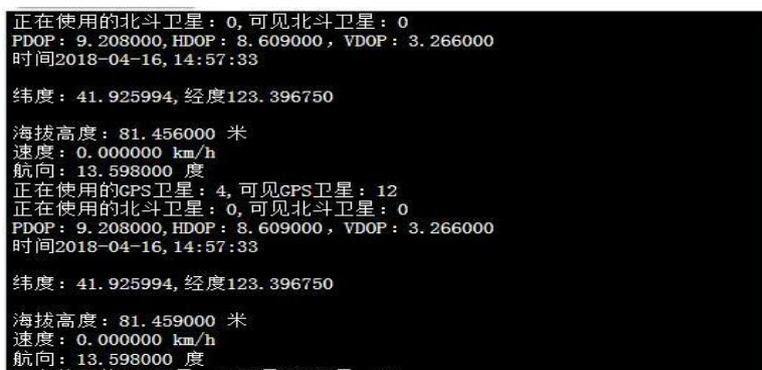


图 22 无线通信测试

### 4.8.3 调试结果

经过调试之后，问题基本解决，上位机显示、数据存储以及下位机定位报警都能正常运行，下位机定位的经纬度为东经 123.401342 度，北纬 41.920287 度，海拔高度为 20.2 米，室外温度为 25.1 摄氏度，其检测功能正常运行，其报警功能由于通过 while 循环查询检测，所以有一定的延迟性和误判性，由于传到上位机报警过程也需要时间，从按键到上位机显示报警大约有 2 秒的时间延迟，在实际应用过程中基本不受影响。其显示效果图、硬件电路实物及显示如图 23 所示。



图 23 硬件电路实物及显示

## 5 结语

由于时间原因，本设计还存在欠缺，仍需要进一步完善。目前已发表专利和论文，具有实物成果。应开发智能水上救生衣系统无线通信的入网功能，实现上位机对下位机的数据传输，并构建无线传感器网络，实现对多个救生衣数据的同时监测，同时还应完善上位机监测软件的查询功能，使其功能更加强大，便于将其更好的推广到市场上。

### 参考文献

- [1] 杨健玮,龚椿彭,姜逸川,潘伟文,何伟锋.水上救援机器人的设计[J].机电工程技术,2020,49(03):28-29.
- [2] 冯迎宾,张婧.水面救援机器人控制系统设计及控制算法研究[J].光电技术应用,2020,35(05):60-65.
- [3] 白雪梅.水域智能应急救援装备发展现状[J].中国船检,2020(08):56-58.
- [4] 赵丽.救援机器人的多传感器测控系统[J].电子技术与软件工程,2019(17):76-77.
- [5] 贾硕,张文昌,吴航,陈炜,张永梅.救援机器人研究现状及其发展趋势[J].医疗卫生装备,2019,40(08):90-95+100.
- [6] 楚磊,侯沛勇,谭小群,李希,孙启彰.基于无线通信技术的救援机器人监控系统[J].机械制造,2017,55(06):24-28.

---

## 基于北斗定位的公路异常路面检测系统

作者：马登、魏子奇、刘宇浩、王飞宇

指导教师：高凯

学校：长沙理工大学

---

**【摘要】：**为了及时和便捷地检测公路异常路面，同时降低检测成本，我们开发以一款基于智能手机北斗定位系统的异常路面检测系统，系统包括智能手机客户端和数据服务器两个主要组成部分。其中智能手机客户端可以先运行在驾驶模式和行人模式：其中驾驶模式是针对驾驶汽车的用户设计，利用智能手机内置的三轴加速度传感器和北斗定位模块收集实时收集数据，用户在驾驶时仅需将手机平放固定即可进行有效检测，这种模式可以利用汽车行驶大量收集异常路面信息，进行有效及时地检测。此外行人模式是针对步行和驾驶非机动车的人开发，需要用户在智能手机客户端拍照上传图片，由服务器端的模型识别图片并返回识别结果，服务器利用图像识别算法判断路面损坏情况，并且利用手机的定位信息记录异常路面位置。同时本系统检测出的所有异常路面位置（经纬度信息）会上传至数据库保存，并可通过客户端连接数据库查看，公路管理部门可以及时收集管辖范围内的路面损坏情况和位置信息，进行及时地维护。智能手机端户端程序开发利用了高级数据处理算法和智能图像识别算法，具有一定先进性。目前开发的测试系统证明方案的可行性和有效性。

**【关键词】：**智能手机内置传感器，客户端，驾驶模式，行人模式、图像识别，定位系统

**【 Abstract 】** In order to detect the abnormal road surface timely and conveniently, and reduce the detection cost, we develop an abnormal road surface detection system based on smart phone Beidou Positioning System. The system includes two main parts: smart phone client and data server. The smart phone client can first run in the driving mode and pedestrian mode: the driving mode is designed for the users who drive the car. The built-in three-axis acceleration sensor and Beidou Positioning Module of the smart phone are used to collect real-time data, and the users can effectively detect the mobile phone when they are driving. This mode can use the car to collect a large number of data Collect the information of abnormal road surface to detect effectively and timely. In addition, pedestrian mode is developed for people who walk and drive non motor vehicles. Users need to take photos and upload pictures on the smart phone client. The model on the server recognizes the pictures and returns the recognition results. The server uses image recognition algorithm to judge the road damage, and uses the positioning information of the mobile phone to record the abnormal road position. At the same time, all abnormal pavement positions (longitude and latitude information) detected by the system will be uploaded to the database for storage, and can be viewed through the client connection database. The highway management department can timely collect the pavement damage and location information within its jurisdiction for timely maintenance. The advanced mobile phone user terminal program has developed advanced data processing algorithm and intelligent image recognition algorithm, which has certain advanced nature. The test system developed at present proves the feasibility and effectiveness of

the scheme.

**【 Key words 】** Smart phone sensors, Application, Driving mode, Pedestrian mode, Image recognition, Positioning system

## 1 作品概述

本作品是一款基于北斗定位的异常路面检测系统，该系统由手机客户端和服务端构成，采用当前智能手机丰富的内置传感器模块收集所需数据。其中手机客户端包含驾驶模式和行人模式。在驾驶模式中，应用通过调用智能手机内置的加速度传感器和北斗定位系统采集当前的加速度信息和位置信息，并利用巴特沃斯九阶低通滤波器实现数据的预处理，最后依据阈值条件判断出路面是否异常，若路面异常，则通过百度地图接口在地图上实现异常点的标注。在行人模式中，该应用将行人上传的异常路面照片及位置信息反馈给服务器端，服务器端通过运行的机器学习程序判断异常路面的类型，并将标注后的信息反馈给客户端。其中行人模式的总体流程图如图 1 所示。

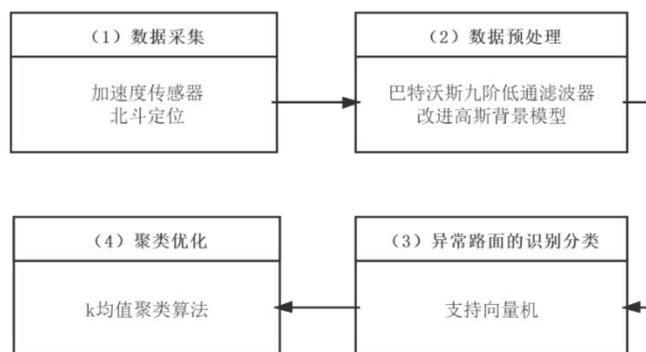


图 1 行人模式流程图

服务器端则主要负责将异常路面点的经纬度存储在 Mysql 数据库中，还会采用聚类算法对检测出的一定范围内的异常路面点聚类，提高经纬度数据的准确度。同时也会将行人模式下用户上传图片和经过深度学习模型处理后的图片保存在文件夹下。

在这个系统中，识别出的异常路面信息会及时发布给相关的驾驶员和道路养护人员，异常路面检测系统的工作机制如图 2 所示。

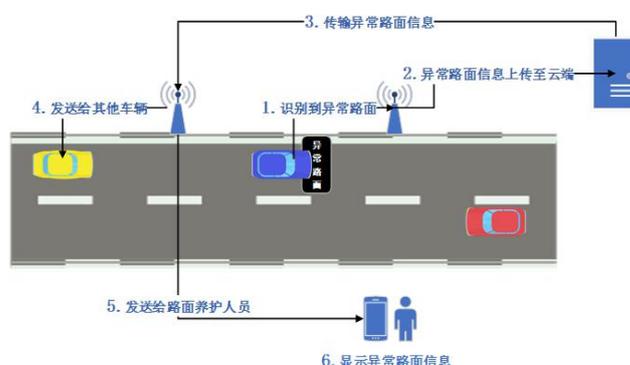


图 2 异常路面检测系统工作机制

## 2 作品创新点及优势

### 2.1 作品采用了众包模式

原来的异常路面检测任务需要有关道路的专业人员带着专业的设备进行检测，这种检测方法不仅检测的范围极为有限而且价格也十分的昂贵。我们的作品采用众包模式将原本的检测任务以自愿自由的形式转交给大众群体来完成，在这一过程中只需为自愿检测者支付少量报酬甚至完全免费。这种模式下的检测范围可以大大增加且成本可得到降低。

### 2.2 作品考虑到检测人群设计了两种检测模式

作品设计了驾驶模式和行人模式两种模式，这两种模式采用两种截然不同的方法进行检测。驾驶模式考虑到驾驶员在行车过程中不便采用基于加速度的检测方法，仅需将手机平放即可对当前行驶路面进行有效检测。行人模式则采用基于图像识别的检测方法，行人在观察到异常路面后拍摄该破损部分图片，上传至服务器后即可进行有效检测。

### 2.3 作品采用聚类算法

考虑到这样收集到的结果可能具有偶然性和片面性，我们在服务器端采用了聚类算法，对数据库中存储的经纬度信息进行聚类。这样能较好的避免结果的片面性，提高准确度。

## 3 软件使用说明

### 3.1 用户界面



图 3 用户界面

描述：该页面为用户界面，具有显示地图、查看异常路面点经纬度、保存数据、驾驶模式和行人模式的功能。

显示地图：该地图调用百度地图接口展示，图中小蓝点表示用户当前所处位置，小黑点表示收集到的异常路面数据。

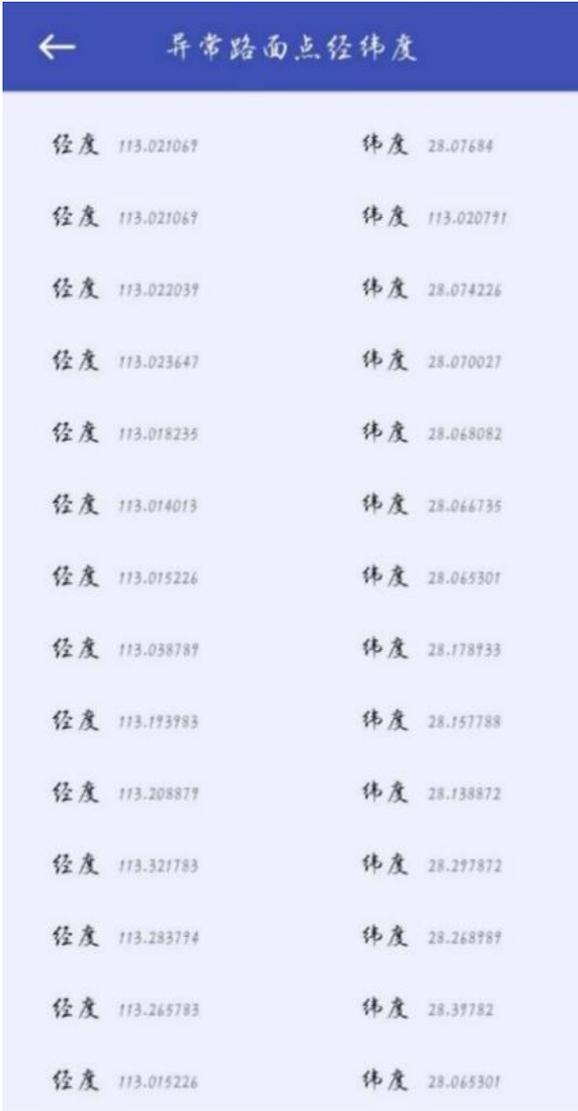
查看异常路面经纬度：点击图标后与服务器数据库连接，展示数据库中所收集到的所有异常路面点经纬度。

驾驶模式：点击后在界面下方空白处展示三轴加速度、经纬度、速度信息。

保存数据：点击后以 txt 文件的形式存储在预设文件夹中。

行人模式：点击后实现异常路面图片的上传，并展示服务器端接受到返回结果。

### 3.2 异常路面经纬度查看



经度	纬度
113.021069	28.07684
113.021069	113.020791
113.022039	28.074226
113.023647	28.070027
113.018235	28.068082
113.014013	28.066735
113.015226	28.065301
113.038789	28.178933
113.193993	28.157788
113.208879	28.138872
113.321783	28.297872
113.283794	28.268989
113.265783	28.39782
113.015226	28.065301

图 4 查看异常路面经纬度页面

描述：在用户界面点击异常路面经纬度按钮即可进入该页面，该页面在与服务器端连接后展示数据库中所有储存的异常路面经纬度数据。

### 3.3 驾驶模式



图 5 驾驶模式页面

描述: 点击后在该页面下方空白处展示传感器所收集到的数据。分别为经度、纬度、速度、三轴加速度、收集数据个数。

### 3.4 保存数据

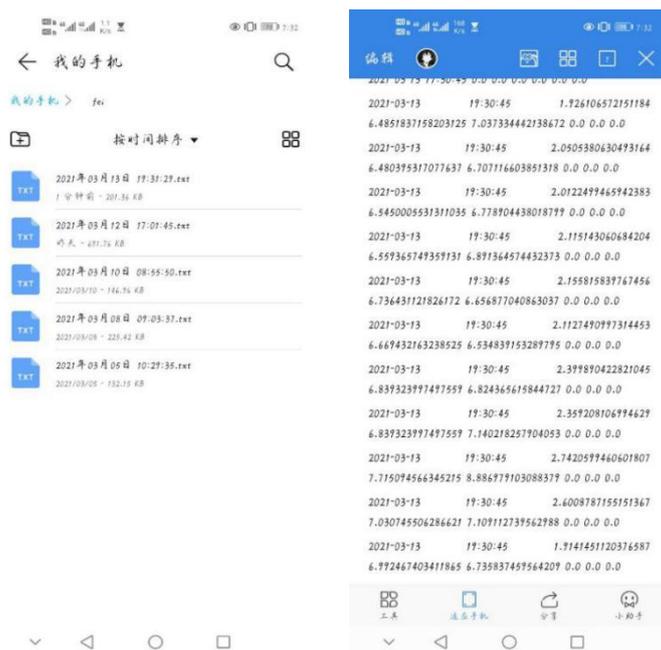


图 6 数据保存文件夹及保存格式

描述：点击用户界面的保存数据后，将驾驶模式所收集到的传感器数据持续写入 txt 文件，该文件以时间形式命名在预设文件夹中。

### 3.5 行人模式

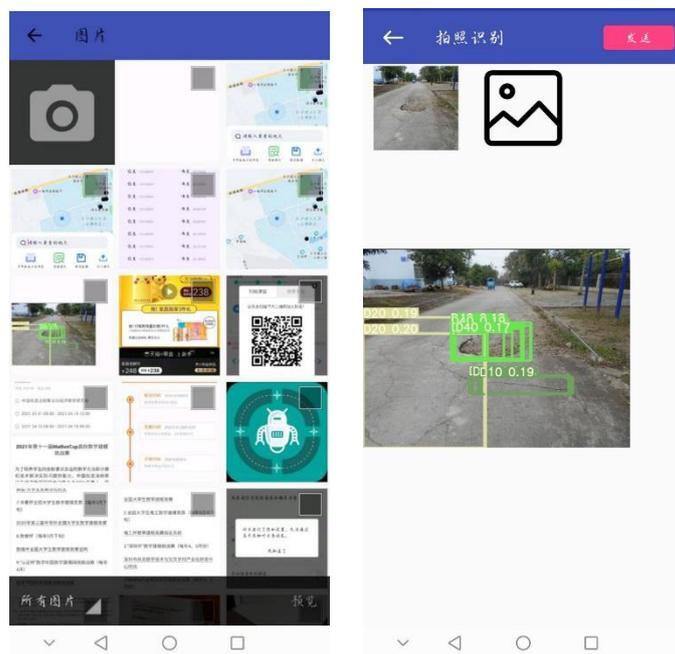


图 7 行人模式页面

描述：点击行人模式后页面会进去手机相册，用户可点击第一个相机按钮实时拍摄异常路面图片，也可选择从手机相册上传图片。点击发送按钮后将图片上传至服务器端，经服务器端的模型处理后将返回结果展示在页面空白区。

## 4 客户端功能模块

### 4.1 加速度收集模块

基于智能手机内置的三轴加速度传感器实现对智能手机三轴加速度的实时收集，同时可利用文件系统 I/O 接口对收集的数据以 txt 文件的形式储存。其中三轴加速度传感器的采用频率为 400Hz，三轴加速度的方向见图 1。



图 8 三轴加速度方向

## 4.2 加速度处理模块

通过设计的巴特沃斯九阶低通滤波器和改进高斯背景模型对收集的垂向加速度（z轴）进行预处理，处理前后的垂向加速度对比如图2。

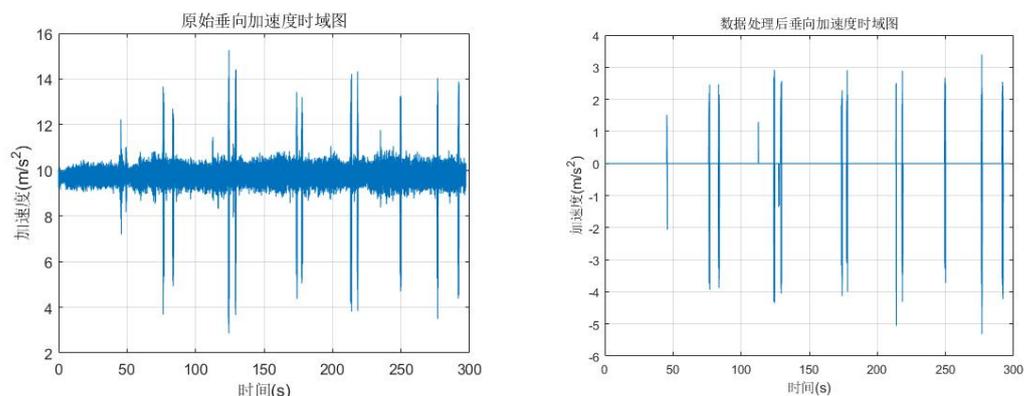


图9 预处理前后垂向加速度时域图对比

随后采用训练好的支持向量机算法对数据进行分类，判断其是否为异常路面点。训练的支持向量机所选取的训练集和测试集规模如表1所示。

表1 训练集和测试集规模

路面类型	训练集规模	测试集规模
异常路面	1281	535
平整路面	624	282
总计	1905	817

经过训练后的支持向量机算法训练集准确率为95.59%，测试集准确率为94.86%。其分类结果比较如图3所示。

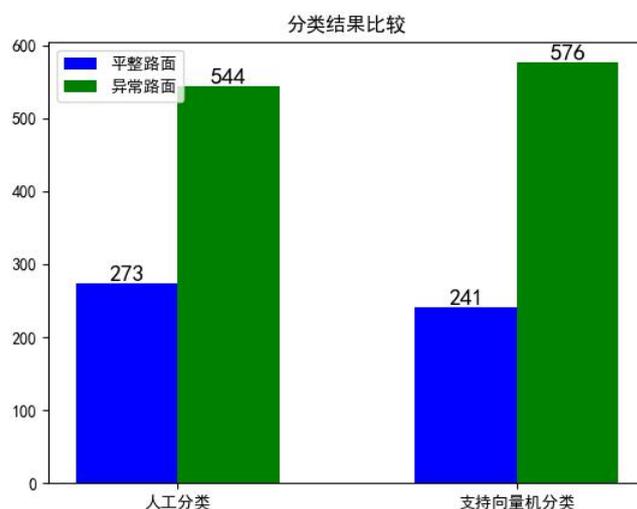


图10 分类结果比较

## 4.3 定位模块

该模块从智能手机的定位接口中提取硬件设备收集到的北斗定位系统的经纬度数据，同时使用了百度地图的第三方服务，采用高精度定位后可通过移动数据网络的方式辅助定位。

#### 4.4 数据存储模块

该模块 I/O 接口在文件系统中创建 txt 文件并持续写入数据，数据在写入前会经过格式化处理，数据的写入形式如图 4 所示，从左到右分别为时间、X 轴加速度（单位： $m/s^2$ ）、Y 轴加速度（单位： $m/s^2$ ）、Z 轴加速度（单位： $m/s^2$ ）、纬度（单位： $deg$ ）、经度（单位： $deg$ ）、行驶速度（单位： $Km/h$ ）。

```
2021-03-13 19:31:04 0.8541266322135925 6.1645426750183105 7.807817459106445 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 0.7871273159980774 6.004227161407471 8.207419395446777 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 0.7009839415550232 6.102331638336182 7.989671230316162 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 0.8732610940933228 6.3631463050842285 7.561358451843262 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 0.9881253838539124 6.346396446228027 7.491964817047119 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 0.9952983856201172 6.190869331359863 7.846105575561523 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 1.0096540451049805 6.193263530731201 7.745606422424316 28.07376 113.011292 0.0
2021-03-13 19:31:04 0.7823389172554016 6.190869331359863 7.39385986328125 28.07376 113.011292 0.0
```

图 11 存储数据格式

#### 4.5 网络指令处理模块

系统启动后采用 TCP 协议向服务器连接，建立 TCP 指令通道，通道建立后先向服务器发送注册信息。之后进行监听，从服务器接收转发自客户端的指令，并进行处理。

#### 4.6 图片上传模块

点击行人模式中的摄像机图标即可选择从手机相册中上传图片或现场拍摄图片，上传的图片会被压缩为 3M 以下，上传照片的同时应用会获取当前所在位置的经纬度。

#### 4.7 照片识别模块

该模块采用阿里云 OOS 技术接受图片上传模块所上传的图片，随后将传入训练好的深度学习模型中进行检测识别。该深度学习模型采用 yolov5 模型，训练集采用 IEEE Big Data Cup 中的有关路面破损数据集训练而成，该数据集中共有图片 26336 张。对路面破损的识别情况如图 4 所示。

#### 4.8 展示模块

该模块将服务器端部署的深度学习模型的检测结果返回给客户端。如果识别为异常路面则将处理后的图片返回给客户端，并弹出提示框提醒用户检测到异常路面，同时在服务器端将该图片的经纬度保存在数据库中，返回结果如图 6 所示。如果在上传图片中没有检测到异常路面点，则会弹出提示框告知用户图片中并未检测出异常路面点，并将原图返回给客户端。

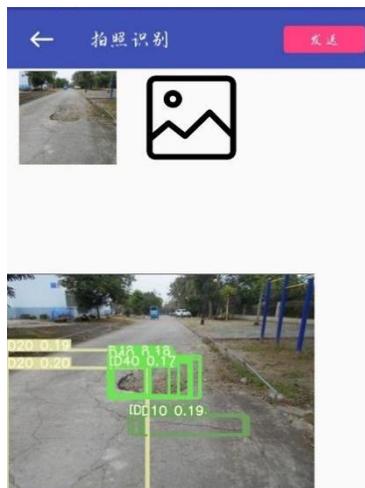


图 12 异常路面客户端返回结果

---

## 一种基于北斗的水质监测系统设计

作者：杜承璋、谢星成、彭琪

指导教师：王新蕾、刘恒

学校：南京信息工程大学滨江学院

---

**【摘要】**：针对现行水质监测费时费力的现状，提出了一种基于北斗定位的内陆湖泊、河道水质监测系统，以实现远程实时在线水质监测，完善水质监测布点与采样。该系统由浮标数据采集系统和岸基数据监测系统组成。浮标数据采集系统搭载在自主设计的浮标上，由 STM32F103 单片机主控模块、北斗定位模块、4G 透传模块、水质监测传感器组等器件组成。北斗定位模块和水质传感器组将采集到的北斗定位数据和水质参数发送到主控模块，主控模块与岸基数据监测平台间用基站作为媒介进行移动通信，实时显示水质传感器组采集到的水质信息，且在遇到水质突变等状况时，系统可发出告警信息提醒管理人员，便于及时定位和查找水体污染原因等。同时，根据采集到的北斗定位数据，水质监测平台会实时绘制浮标运行轨迹，便于监测控制、规划和浮标的回收、检修。经过实地测试，系统运行状况良好，可实现水质监测、水质预警、浮标移动轨迹绘制等各项功能，能够满足对水质信息自动化远程监测的需求。

**【关键词】**：北斗定位，浮标单元，STM32，水质监测，移动通信

**【Abstract】** Aiming at the current situation that water quality monitoring is time-consuming and laborious, a water quality monitoring system for inland lakes and rivers based on Beidou positioning is proposed to realize remote real-time and online water quality monitoring and improve the distribution and sampling of water quality monitoring. The system consists of buoy data acquisition system and shore-based data monitoring system. The buoy data acquisition system is carried on the independently designed buoy and consists of STM32F103 microcontroller main control module, Beidou positioning module, 4G transmission module, water quality monitoring sensor group and other components. Beidou positioning module and the water quality sensor group will Beidou positioning data were collected and sent to the single-chip microcomputer control module, water quality parameters of single chip microcomputer control module and shore-based data monitoring platform using the mobile communication base station as a medium, real-time display of water quality sensors set of collected water quality information, and to meet the water quality mutations, such as information system can be an alarm to remind managers, to facilitate positioning and investigate the cause of water pollution and so on. At the same time, according to the collected Beidou positioning data, the water quality monitoring platform will draw the running track of the buoy in real time, which is convenient for monitoring control, planning, recovery and maintenance of the buoy. The field test shows that the system is in good running condition, which can realize various functions such as water quality monitoring, water quality warning, buoy moving track drawing and so on, and can meet the demand of automatic remote monitoring of water quality information.

**【Key words】** Beidou navigation, buoy unit, STM32, water quality monitoring, mobile communication

---

# 1 引言

“绿水青山就是金山银山”。世界经济高速增长的同时，环境问题越发严峻。其中，水体污染已成为最严重的污染之一<sup>[1-3]</sup>，而在水污染防治工作中，水质监测是提高水环境管理保护的必要手段和重要环节，在环境监测中占有很大比重<sup>[4]</sup>。

国务院生态环境部提出《生态环境监测规划纲要（2020-2035年）》，推动地表水监测由人工监测与自动监测并行，向以自动监测为主过度。现有常规的水质监测方式主要有两种，一是实验室抽样化验；二是自动化监测。国外主要采用一体式自动化监测方式，将多种传感器布置于河道、湖泊等污染源处，结合计算机网络技术实现高自动化和高时效性，但此方法价格昂贵、需要专业的维护人员<sup>[5,6]</sup>。我国水质监测目前主要还是依靠实验室检测，虽然准确度高、操作方便，但存在效率低、实时性差、成本高且有二次污染的风险<sup>[7-9]</sup>。当前，水质监测的主要任务是及时、准确、全面地获取水质监测数据，实时反映水质质量状况和变化趋势，准确预警各类潜在的环境问题和响应突发环境事件<sup>0</sup>。因此，实时的水质监测设备是其中重要的一环<sup>[10]</sup>。但这仍存在以下问题：传统的在线监测系统以有线的方式连接传感器和监控计算机，布线复杂，实施较为困难<sup>[10]</sup>；无线传感器网络水质监测系统中，每个传感器网络节点位置固定，不能移动，监测范围有限<sup>[12,13]</sup>。

针对以上问题，本文提出一种基于北斗的水质监测系统设计。该系统既解放了人力，又降低了自动化监测的成本，还可保证水质监测的时效性，完善了水质监测布点与采样。同时使用北斗系统提供精确定位和移动轨迹绘制。设计系统时采用嵌入式思路，使用 KEIL 软件作为开发编译环境，实现了从数据采集、数据传输、数据处理到数据可视化。该系统为工作人员有效分析水质数据提供了便利，保证了水治理的效率和效果，对提高环境质量、恢复青山绿水具有重要意义。

## 2 系统总体方案设计

### 2.1 系统设计方案

本系统的示意图如图 1 所示。系统包括两部分：浮标数据采集系统和岸基数据监测系统。



图 1 河道水质监测系统示意图

如上图所示，浮标数据采集系统包括主控模块、北斗定位模块、4G透传模块、水质传感器组和电池模组；岸基数据监测系统包括用于数据传输的通信基站和岸基监测中心。

(1) 水质传感器组：水质传感器组由温度传感器、浊度传感器、水质 TDS 传感器组成，将这些传感器安装在浮标底部，用于采集浮标所在水域的水质参数。

(2) 岸基监测中心：选择计算机作为监控中心的上位机，通过设计的岸基数据接收监测系统实现对水质参数的读取、处理和展示。

## 2.2 机械设计方案

在浮标模型设计时，首先考虑到防倾覆的要求和各个模块的安装位置。浮标整体呈球状，可有效抵御浮标移动过程中发生倾覆带来的风险。为保证监测数据的连续性，让数据采集设备能够不间断进行数据采集，利用不倒翁的原理，在底部配置一个配重舱，这可有效保证浮标对水域水质的连续监测。为使浮标在水面上保持平衡，将主控模块放置于上层挡板中心处，北斗定位模块和 4G 透传模块分别置于主控模块左右两侧。下层挡板用于放置电池模组。配重舱与水质传感器组则放置在下层挡板与浮标底部间。机械设计剖面图如图 2 所示。

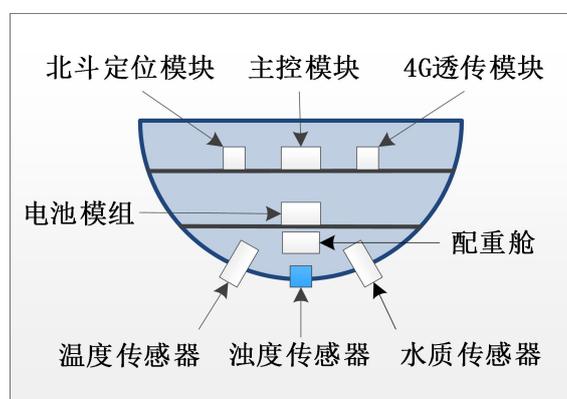


图 2 浮标数据采集系统剖面效果图

本系统使用 18K 泡沫制品制作的浮标作为测试模型进行测试。模型实物如图 3 (A)、(B) 所示。a 图从左至右分别为北斗定位模块、主控模块、4G 透传模块。b 图从上至下分别为水质 TDS 传感器、电池模组、浊度传感器。



图 3 浮标数据采集系统测试模型实物图

## 3 浮标系统硬件设计

浮标数据采集系统硬件采用模块化设计，有着功能强大，结构简单，操作便利等优点。系统总体结构如图 4 所示，主要由主控模块、北斗定位模块、4G 透传模块、水质传感器组等组成。主控模块是浮标系统的核心模块，采用 STM32F103C8T6 处理器作为主控，完成将北斗定位模块输出的坐标数据进行

处理等功能。北斗模块由北斗定位模块、北斗天线模块组成,可实现浮标定位功能。北斗定位模块和水质采样传感器组将采集到的北斗定位数据和水质参数传送到主控模块,主控模块与监测平台间用基站通信,即将采集到的北斗定位数据和水质参数通过4G透传模块发送至岸基数据监测平台。同时,根据采集到的北斗数据,监测平台实时绘制浮标运行轨迹。这样既可使管理人员查看已监测范围,也方便浮标的回收和检修。

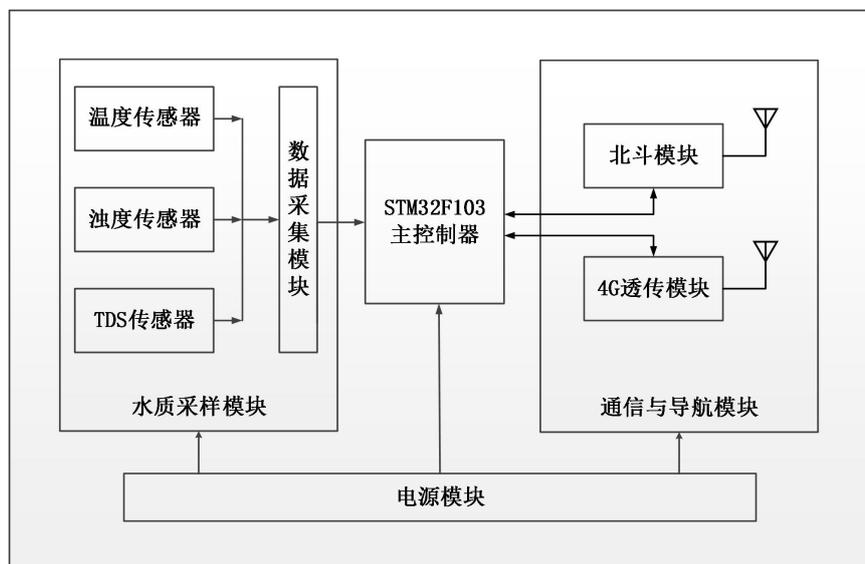


图4 浮标数据采集系统总体结构图

### 3.1 主控模块

主控模块是浮标数据采集系统的核心部件,采用STM32F103C8T6芯片负责系统的整体运行。该芯片是基于ARM Cortex-M内核的32位微控制器,工作频率为72MHz,程序存储器容量是64KB,同时片内FLASH支持在线编程。主控模块与其它模块的通信电路原理图如图5所示,主要完成两项工作:一是连接北斗定位模块与其进行通讯,向岸基数据接收监测系统发送数据;二是与水质传感器组通讯,发送采集指令和接收数据。

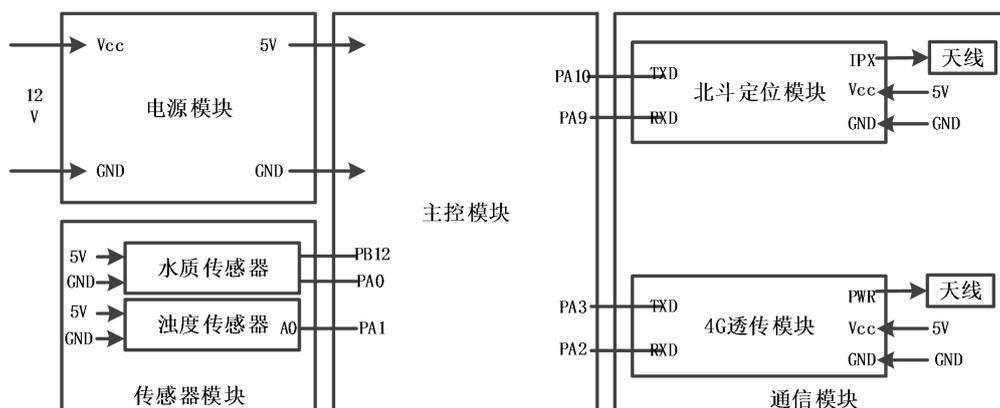


图5 浮标数据采集系统电路原理图

### 3.2 北斗模块

自主研发可独立运行的卫星导航系统,具有重大意义。北斗卫星导航系统作为全球四大卫星导航系统之一,是国家战略安全和社会发展的需要,具有使用安全,定位精确,发展前景广阔等优点<sup>[14]</sup>。通过北斗卫星系统,配合岸基数据监测系统、数据传输等技术,保证定位数据安全可靠并且实时有效的传输。

本系统采用嵌入式的 ATGM336H 北斗定位模块如图 6 所示，它有着体积小、功耗低的优点，适合用于浮标数据采集系统。

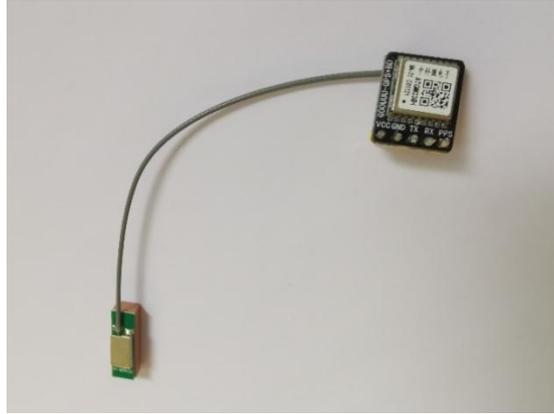


图 6 浮标数据采集系统北斗模块实物图

### 3.3 4G 透传模块

本系统应用于内陆湖泊水质监测，在数据传输方面可采用 4G 通信，有利于节省北斗系统卫星资源，降低成本。实物如图 7 所示。要完成浮标数据采集系统和岸基数据监测系统间的数据交换，需进行内网穿透。



图 7 浮标数据采集系统 4G 透传模块实物图

内网指内部建立的局域网络或办公网络，外网是通过一个网关或网桥与其它网络系统连接。内网穿透就是外网向内网进行数据交换。

花生壳是一款具备内网穿透功能的软件。能通过云服务器快速与内网服务器建立连接，同时把内网端口映射到云端，实现各类基于域名的互联网应用服务。并可实现反向代理应用，支持 TCP、HTTP、HTTPS 协议，端到端的 TLS 加密通信，黑白名单防黑验证等；支持外网设备穿透各种复杂的路由和防火墙访问到内网的设备。其使用界面如图 8 所示。

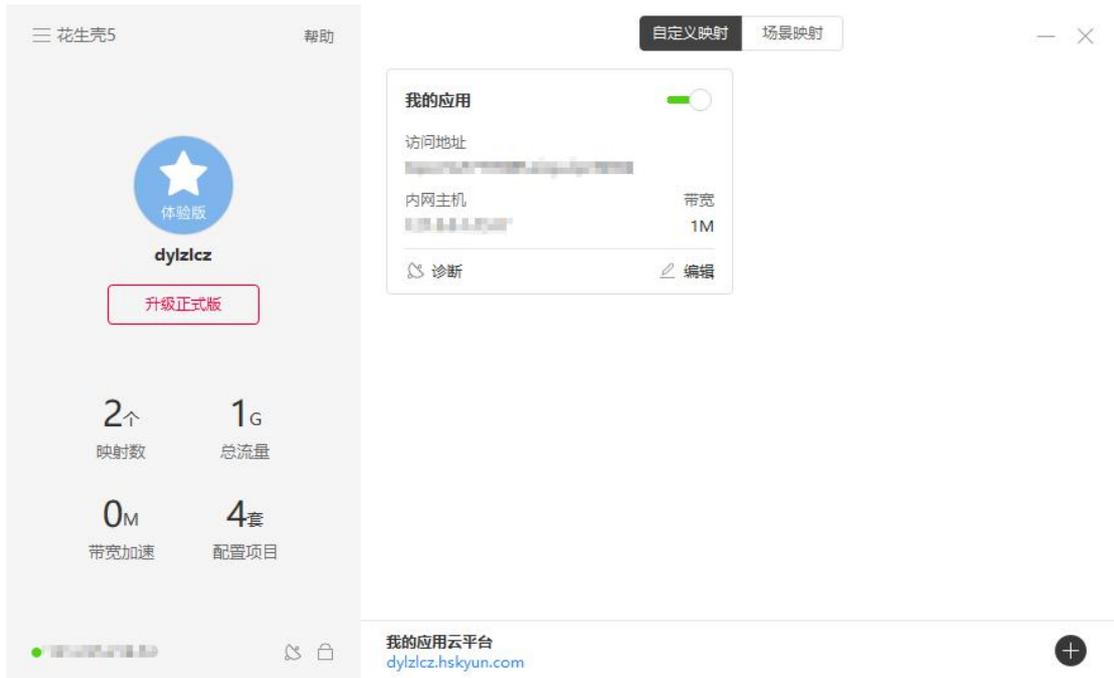


图 8 内网映射软件使用界面

### 3.4 水质 TDS 模块与温度补偿

TDS 表示 1L 水中融有多少 mg 溶解性固体。TDS 值与水中溶解物成正比，与水的洁净程度成反比。TDS 作为一种可快速检测的参数，可作为有效的水质情况反映参数用以参考。实物如图 9 所示。



图 9 浮标数据采集系统水质 TDS 模块实物图

TDS 常用单位为 ppm，以溶质质量占全部溶液质量的百万分比来表示浓度。TDS 模块标准曲线如图 10 所示。

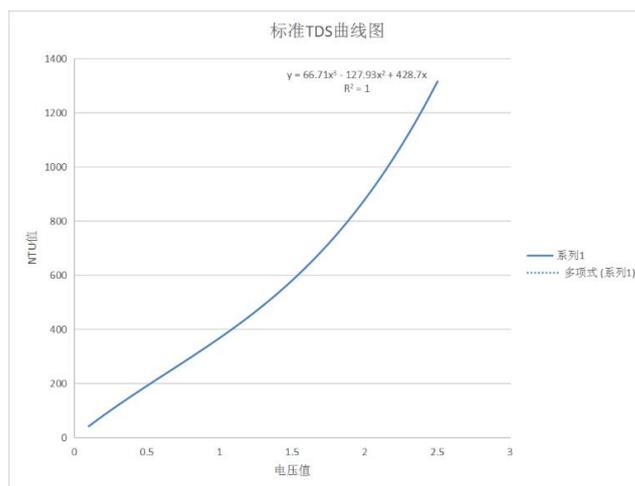


图 10 标准 TDS 曲线图

由于 TDS 探头间的个体差异，未进行温度补偿等原因，会导致测量值有较大误差，因此，为获得更精确的 TDS 值，需进行校准。

步骤一：记录标准 TDS 溶液为  $TDS_{标准值}$ ；

步骤二：TDS 模块供电后将 TDS 探针和温度传感器放入 TDS 标准溶液，测试传感器模块 AO 口输出电压并记录为  $V_{测}$ 。测试当前测试溶液并记录为  $T_{测}$ 。

将  $V_{测}$  和  $T_{测}$  带入 TDS 标准曲线公式和温度修正系数计算公式：

$$T_{修正} = 1 + 0.02 \times (T_{测} - 25)$$

$$V_{修正} = T_{修正} \times V_{测}$$

$$TDS_{测试值} = (66.71 \times V_{修正}^3 - 127.93 \times V_{修正}^2 + 428.7 \times V_{修正})$$

步骤三：计算  $K$  值。假设  $TDS_{标准值} = 90\text{ppm}$ ； $TDS_{测量值} = 100\text{ppm}$ ，则计算得到  $K$  值为 0.9；

$$K = TDS_{标准值} / TDS_{测量值}$$

步骤四：修正  $K$  值。将计算得到的  $K$  值在程序中进行修正，修正  $kValue$  值等于计算得到的  $K$  值，如图 11 所示。

```
float kValue=0.9;
```

图 11 修正 K 值

注：温度校正系数  $T_{修正}$  计算公式为：

$$T_{\text{修正}} = 1 + 0.02 \times (T - 25)$$

其中  $T_{\text{修正}}$  为温度校正系数， $T$  为待测溶液测量温度。

### 3.5 浊度模块

浊度模块利用光学原理，通过溶液的透光率和散射率综合判断浊度情况。利用模块内的一个红外线对管判断透光率，透光率取决于采集水域的污浊程度，水越污浊，透光越少。光接收端将透过光强转换为相应的电流。透光越多，电流越大，反之则越小。

浊度模块将传感器输出的电流信号转换为电压信号，通过 STM32 进行 A/D 转换数据处理。模拟量用 STM32A/D 转换器进行采样处理，以获知当前水质污浊度。数字量使用模块上的电位器调节触发阈值，当浊度达到阈值，D1 指示灯点亮，浊度模块输出由高电平变成低电平，STM32 通过监测电平的变化，判断浊度是否超标。该模块价格低廉、使用方便、测量精度高。实物如图 12 所示。



图 12 浮标数据采集系统浊度模块实物图

浊度模块输出电压与浑浊度关系如图 13 所示。

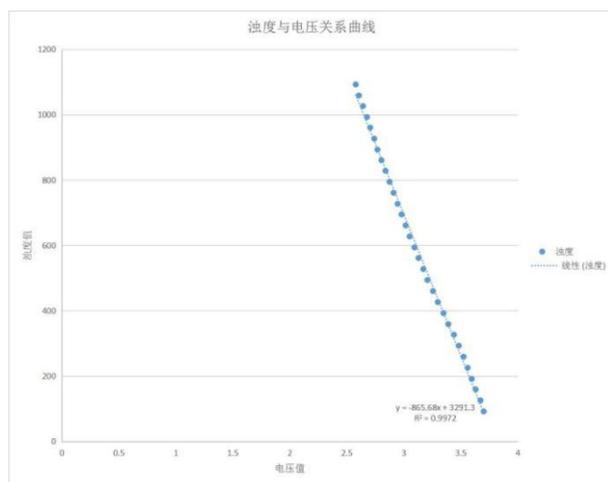


图 13 浊度-电压曲线

浊度值与模块输出电压满足：

$$TU = -865.68 \times U + K$$

上式中  $TU$  为当前浊度值， $U$  为当前温度条件下模块的输出电压值， $K$  为截距值，需通过标定方法得到。

传感器输出电压值大小受温度影响，输出电压与温度曲线关系如图 14 所示。进行浊度测量时需进行温度补偿以保证测量精度。

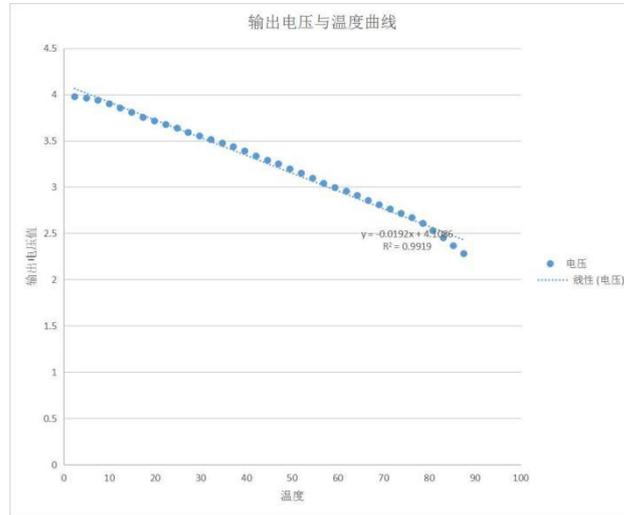


图 14 电压-温度曲线

注：温度校正公式为：

$$\Delta U = -0.0192 \times (T - 25)$$

上式中  $\Delta U$  为温度变化引起的电压差； $T$  为当前测量温度值。

由于浊度模块间的个体差异，环境光或未进行温度补偿等原因，会导致测量值有较大误差，因此，为获得更精确的浊度值，需进行校准。

步骤一：给模块上电，使用 ONTU 的标准溶液进行校准；

步骤二：测量并记录当前校准溶液的温度值并记为  $T_{测}$ ，测量并记录传感器模块的输出电压为  $U_{测}$ ；

步骤三：计算温差引起的电压差值  $\Delta U$ 。将  $T_{测}$  代入温度修正公式；

$$\Delta U = -0.0192 \times (T_{测} - 25)$$

步骤四：计算 ONTU 标准液标准电压值  $U_{25^{\circ}\text{C}}$ ；

$$U_{25^{\circ}\text{C}} = U_{测} - \Delta U$$

步骤五：计算  $K$  值，将计算到的  $U_{25^{\circ}\text{C}}$  代入标准曲线公式；

$$K = 865.68 \times U_{25^{\circ}\text{C}}$$

步骤六：修正标准曲线公式，将计算得到的 $K$ 代入标准曲线公式。

$$TU = -865.68 \times U + K$$

### 3.6 电池模组

浮标数据采集系统电池模组选择采用锂电池进行供电。锂电池通过降压芯片 LM2596S 实现+12V 到+5V 的转换，使用 AMS1117 实现+5V 到+3.3V 的转换。经降压芯片转换后的直流电可同时为北斗定位模块、4G 透传模块及水质传感器组供电。实物如图 15 所示。

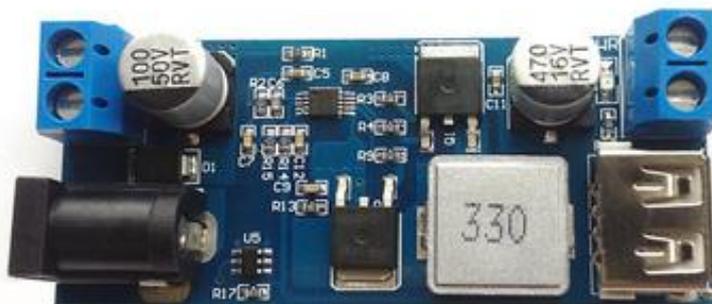


图 15 浮标数据采集系统温度模块实物图

## 4 软件系统总体设计

### 4.1 浮标数据采集系统设计

浮标系统是基于嵌入式的框架完成设计的，使用 KEIL 软件作为程序开发的集成编译环境，整个程序采用模块化设计，主要包括系统初始化、水质信息采集和处理、北斗卫星定位和移动轨迹处理、数据发送操作等模块。系统流程图如图 16 所示。浮标数据采集系统上电后首先将系统各模块初始化，然后进行卫星定位，并执行水质数据采集操作，同时保持定时发送北斗定位数据和水质监测数据至岸基数据监测系统。

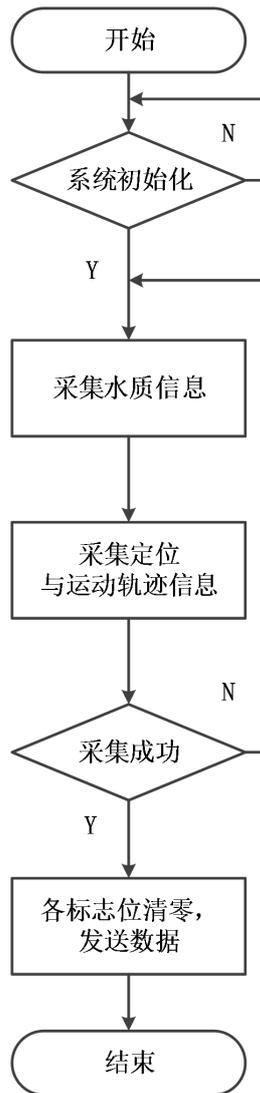


图 16 浮标数据采集系统流程图

#### 4.2 岸基数据监测系统设计

岸基系统的监测软件在 C++ 环境下进行开发。C++ 是一种被广泛使用的计算机编程语言。软件架构采用模块化设计思想，主要模块包括串口通信模块、水质参数显示模块、地图模块、轨迹绘制模块和数据保存模块。

系统可对浮标的地理位置和工作状态进行全天候的实时监测，以此确保浮标可以安全稳定地进行工作。用户还可根据需求，对所得到的数据进行处理和分析。

系统程序流程图如图 17 所示。浮标端将已采集的数据进行处理，之后将数据打包通过基站传输到岸基端。岸基系统监测软件完成初始化后，打开串口接受浮标端发送的数据包，并对数据包完整性和有效性进行判断，经过解密和一系列算法处理后，完成对数据包的解析，最终在可视化界面上显现所有信息，供管理人员查看。

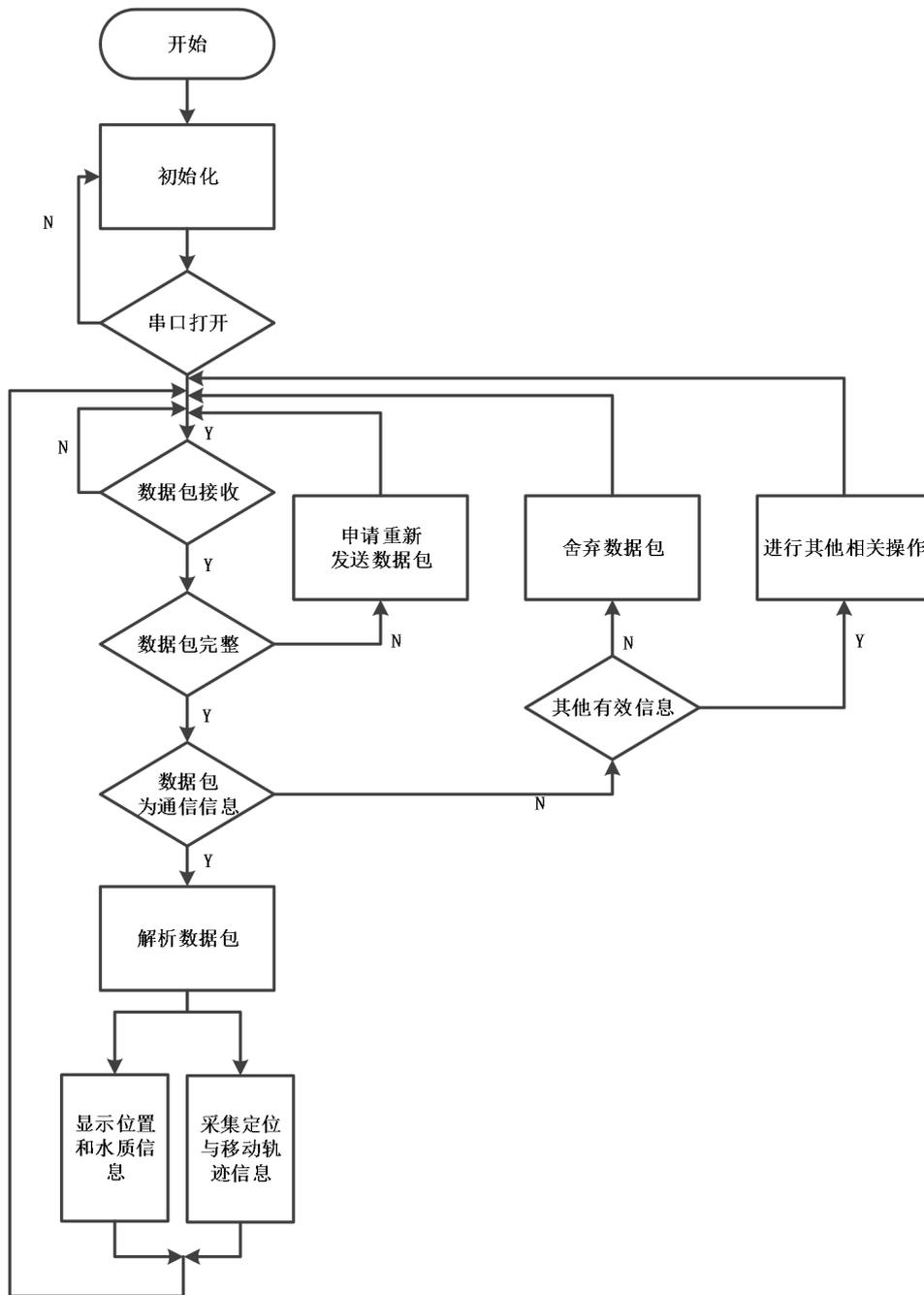


图 17 岸基数据监测系统流程图

### 4.3 监测软件界面设计

监测软件主要有 3 个界面，分别是数据显示界面、阈值设置界面、警报显示界面。数据显示界面是将接受到的水质信息以数值的形式显示出来，将接收到的北斗定位数据在百度地图上显示出来并绘制出与浮标移动对应的轨迹图，将接收到的数据包解析后以文字数据的形式显示出来；阈值设置界面用于调整相应测量数据的上下限；警报显示界面是在传输到终端的数据超出预设阈值时，系统自动开启报警功能，显示状态异常，并发出红色警报提醒管理人员进行突发事件处理。设计完成后的监测软件界面如图 18~图 20 所示。

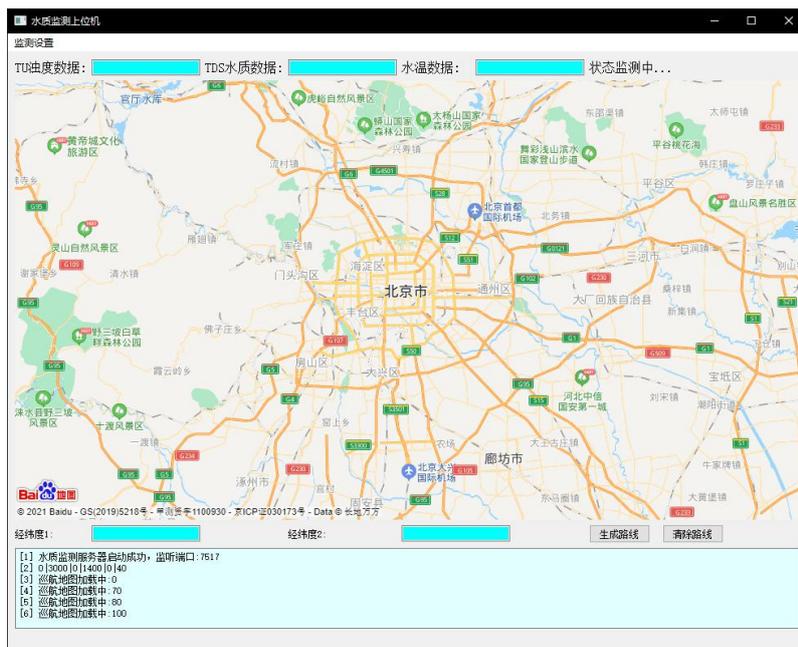


图 18 监测软件数据显示界面



图 19 监测软件阈值设置界面



图 20 监测软件报警显示界面

## 5 系统测试结果

为测试本系统的稳定性和准确性，选取了一段河道作为测试场地。在测试中，浮标端顺利采集到北斗定位数据与水质参数，并实时传输至监测软件显示界面，监测软件也实时绘制出浮标移动轨迹图，如图 21、22 所示。



图 21 监测软件显示界面

TDS/ppm	浊度/TU	温度/°C
172.9	669.7	11.7
171.5	682.2	11.8
173.8	669	11.7
172.6	671	11.8
173.8	673.9	11.8
176.1	668.4	11.8
172.1	673.9	11.8
174.6	675.3	11.8
172.6	676.7	11.8
174.6	678.1	11.7

图 22 部分水质参数展示

对系统测试获得的水质参数进行数据分析，分析结果如图 23~25 所示。由分析结果可看出，经过一段时间的波动，TDS 值稳定在 175ppm，根据《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的规定，此数值满足国家Ⅲ类水质的要求。Ⅲ类水主要适用于集中式生活饮用水、地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬、回游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区。浊度稳定在 691TU，显示此处水域浊度较大，水中悬浮物质较多。温度稳定在 11.7°C，而测试当天室外温度为 11-12°C。以上测试结果与实际情况相符。

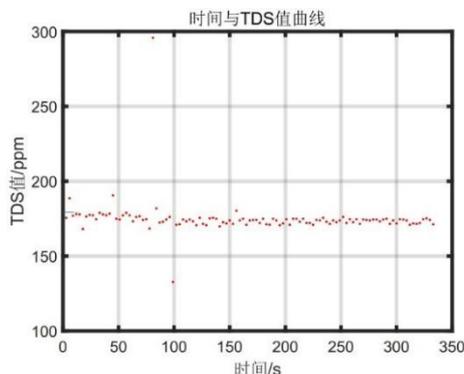


图 23 时间与 TDS 采样图

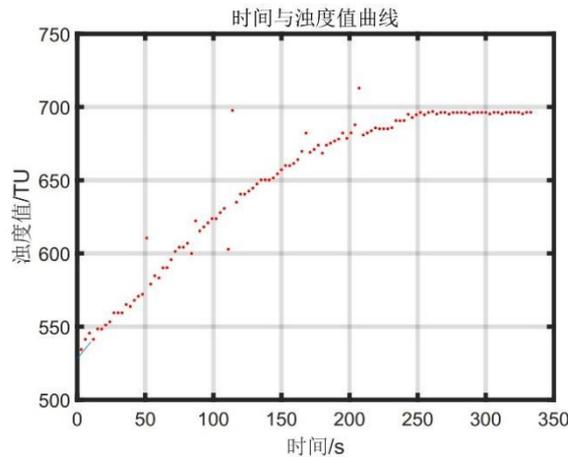


图 24 时间与浊度采样图

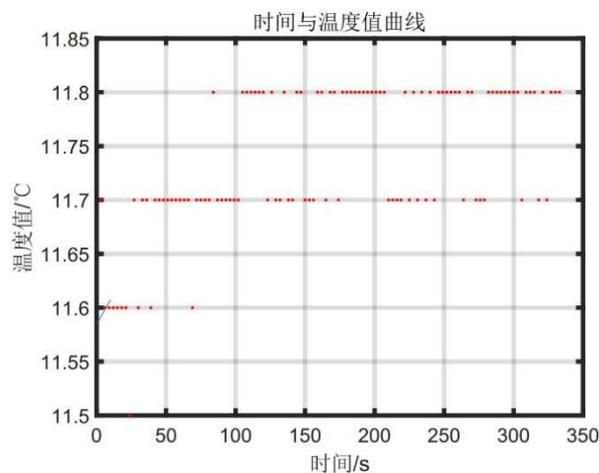


图 25 时间与温度采样图

经测试，水质监测系统运行状况良好，可实现水质监测、水质预警、浮标移动轨迹绘制等各项功能，能够满足对水质信息自动化远程监测的需求。

## 6 总结

### 6.1 创新优势

本系统应用于内陆湖泊。可将多个浮标数据采集子系统组成网状投入大面积的水域中，让他们与岸基接收端互通信息。如此可极大提升水质监测范围，提高水质监测速率。

系统打破了传统水质监测技术效率低、实时性差、成本高的限制。在远程实时监测、全自动运行、使用成本、浮标移动路线记录上分别做出了突破。既解放了人力，又降低了自动化监测的成本，还可保证水质监测的时效性，完善了水质监测布点与采样。同时使用北斗系统提供精确定位和移动轨迹绘制，及时有效定位水污染范围，也为管理人员分析水质数据提供了便利，保证水治理的效率和效果。

### 6.2 未来展望

未来将对操作方式、制作材料、通信、供电等方面加以改进。如加入遥控系统，让管理者远程操作任意浮标，对任意地点进行监测且便于回收；使用 ABS 塑料进行 3D 打印制作浮标单元，使浮标外壳一体成型，保持密封的同时也减轻浮标自身重量；使用北斗卫星系统短报文通信功能完成数据安全、及时、

---

高效的传输，避免因监测处无基站信号导致的采集数据丢失；使用太阳能光伏阵列与蓄电池双向充放供电的方式，节能环保的同时增加系统稳定性，减少维护需求。

### 参考文献

- [1] 彭程, 吴华瑞, 缪祎晟. 村镇河道水质在线监测系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(9):2561-2566.
- [2] 杜治国, 肖德琴, 周运华, 等. 基于无线传感器网络的水质监测系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2008, 029(017):4568-4570, 4592.
- [3] 姚跃, 虞丽娟, 曹守启, 等. 基于北斗通信的河道水质监测系统设计与实现[J]. 计量学报, 2020, 41(10):1291-1296.
- [4] 付广伟, 张浩, 付兴虎, 等. 基于北斗/INS 的移动型水质监测系统设计与实现[J]. 船舶工程, 2015(08):64-67.
- [5] 程淑红, 张仕军, 李雷华, 等. 基于鱼群运动特征和 XGBoost 的异常水质监测[J]. 计量学报, 2018, 38(4):572-577.
- [6] Bourgeois W, Gardey G, Servieres M, et al. A Chemical Sensor Array Based System for Protecting Wastewater Treatment Plants[J]. Sensors & Actuators B Chemical, 2003, 91(1/3):109-116.
- [7] 李怡庭. 全国水质监测规划概述[J]. 中国水利, 2003, 000(014):11-13.
- [8] 秦平. 在线多参数水质检测系统的设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017
- [9] 贺强, 杨璐, 蔚晨月, 等. 基于物联网技术的水质监测系统[J]. 电子技术与软件工程, 2018, 137(15):182-182.
- [10] 时美. 农村地区河道水质在线监测技术的应用[J]. 中小企业管理与科技, 2020, 000(009):123-125.
- [11] 万传飞, 杜尚丰, 赵亮, 等. 基于 WSN 的水产养殖环境监测系统[J]. 农机化研究, 2010, 32(2):170-173.
- [12] 黄建清, 王卫星, 姜晟, 等. 基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统开发与试验[J]. 农业工程学报, 2013(04):183-190.
- [13] 赵敏华, 李莉, 呼娜. 基于无线传感器网络的水质监测系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2014(2):92-96.
- [14] 刘小伟, 吴才聪. 基于北斗系统发展我国精准农业技术装备[J]. 农业工程技术, 2018, 000(018):14-19.

---

## 基于北斗导航卫星系统的多功能便携式智能拐杖

作者：冯志远、石改琴、唐雪艳、王嘉伟

指导教师：何振鹏、钱俊泽

学校：中国民航大学

---

**【摘要】：**拐杖在中国的传统定义中它仅仅只有辅助老人走路这一个功能，鉴于目前老年人遇到的困难很多，例如像走路不稳、紧急情况时无法及时发送求救信息，弯腰困难，体力不支等，传统的拐杖就无法解决这类型的问题。而多功能便携式智能拐杖具有方便、智能、人性化与生活化的特点，让老人能够在不弯腰的同时取到东西；在紧急情况及时发送求救，得到帮助；在体力不支时能够随时随地的坐下来休息等。这样的拐杖最大程度的将老人生活中遇到的问题解决，最大程度的帮助到老人。为老年人这一社会弱势群体进行设计出具有高度重视人文主义关怀的产品，作为我国大多数老年人日常生活环境中一个必不可少的助行用品——复合型拐杖的设计与改造已迫在眉睫。它可以实现老年人生活的便利性、精神依赖性，关系到老年人的生活能否安全快乐。

**【关键词】：**拐杖 多功能 智能 便携式 健康

**【Abstract】** In the traditional definition of walking stick in China, it only serves as a function of assisting the elderly in walking. In view of the many difficulties encountered by the elderly at present, such as unstable walking, inability to send distress messages in an emergency, difficulty bending over, physical exhaustion and so on, the traditional walking stick cannot solve such problems. The multi-functional portable intelligent walking stick has the characteristics of convenience, intelligence, humanization and life, so that the elderly can get things without bending down; Send a call for help in an emergency; Be able to sit down and rest anytime and anywhere when you are physically exhausted. This kind of walking stick can solve the problems encountered in the old man's life to the greatest extent and help the old man to the greatest extent. As an indispensable walking aid in the daily living environment of most elderly people in China, the design and transformation of the compound walking stick is imminent to design products that attach great importance to humanism care for the elderly, a socially vulnerable group. It can realize the convenience of old people's life, spiritual dependence, related to the old people's life can be safe and happy.

**【Key words】** Crutches、multifunctional、intelligent、portable、health

---

### 1 引言

中国成功地发射了第 52 枚和第 53 枚北斗卫星导航系统。北斗卫星导航信息系统可以为全球发展各类网络用户可以提供高精度、可靠的定位、导航和授时服务，并且具有短信通信管理能力、区域导航、定位、授时能力，定位精度 10m，测速精度 0.2m/s，授时精度 10ns。<sup>[2]</sup>

据统计，到 2050 年，中国老年人口将达到 4.8 亿，几乎占全球老年人口的四分之一。但是对于老年人的肢体运动功能障碍，首先出现在腿部运动上。类风湿和关节炎等疾病会降低老年人下肢的能力。下肢运动机能老化问题不仅可以影响我国老年人的步行，更对老年人的人生安全来说，存在着隐患。<sup>[1]</sup>

拐杖、座椅、夹子、减震将多个功能复合设计，采用连杆结构、收缩结构、防震结构等机械结构实现其功能构想。实现老人在使用过程中辅助行走、出行休息以及帮助使用者抓取物品、减少路面不平整带来的震动损伤。将当代智能与传统拐杖的结合，利用北斗卫星导航系统紧急呼救装置、跌倒自动报警装置和实时定位装置，应对突发情况及时呼救，减少因错过救助时机而造成的损伤，通过卫星信号与手机软件结合，让家人知道老人的出行记录，防止老人丢失。

多功能便携式智能拐杖的设计主要立足于两个方面，一个方面是保障老年人的出行安全性，另一方面是提高老年人出行的便捷性，多功能便携式智能拐杖增设抓取和折叠座椅等功能，进一步实现老年人出行过程中行走和休息的便捷性。这不仅是在定位导航的功能使用方面，还是在机械的设计方面，将极大改善老年人的不便，复合拐杖可以帮助老年人站立，可以作为助行器帮助老年人行走，也可以为他们的日常生活保驾护航。

## 2 硬件结构及说明

### 2.1 拐杖的智能系统

#### 2.1.1 紧急呼救装置

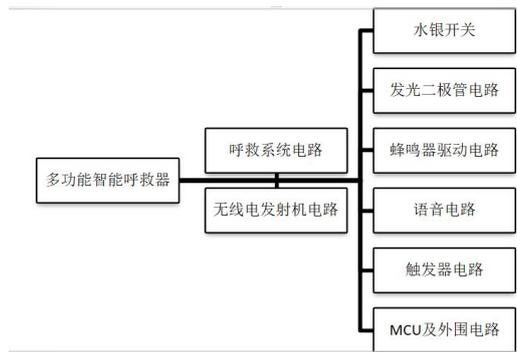


图 1.1.1 紧急呼救装置系统框图

此系统采用无线呼叫自动报警装置，此装置长 43mm，宽 40mm，高 13.8mm。

##### 1、发射机的基本组成

(1) 震荡部分产生稳定工作频率的等幅高频震荡。这种等高频冲击用于传输需要传输的信息，所以称它为“载波”或“载频”。(震荡器、缓冲放大器、倍频器。)

(2) 调制技术部分进行震荡部分产生的载波，将在调制部分中被作为输入的音频数据信号所调制，也就是说，发射机中调制部分的任务是把音频控制信号附加到载波上去。

(3) 大部分高频振荡器产生的高频振荡信号功率很小，不能满足发射机天线的发射功率要求，必须经过发射前功率放大才能获得足够的输出功率。

##### 2、求救信号发射原理

系统主控部分由单片机 AT89C51 组成，处理技术主要通过信息，接收外部进行操作指令，形成各种控制信号。系统硬件设计，出现紧急情况时，按下

紧急按钮，无线紧急呼叫装置发出紧急呼叫信号。无线紧急呼叫管理系统被触发学生工作后，单片机会逐个调出存储在其中的电话号码，通过 MT8880 双音多频电路将这些都是数字信息转换成双音多频信号，然后将双音多频信号发送到电话以及网络，使无线紧急呼叫服务系统分析可以同时通过使用电话销售网络与电话网络中的另一个企业用户通话，报告紧急发展情况。如果无线紧急呼叫系统发送的第一个号码或前几个号码没有被接听或无法连接，无线紧急呼叫系统将按照设定的规则拨出存储在单片机中的电话号码，以此类推，直到电话网络中的用户被接听。<sup>[3]</sup>

语音电路采用 ISD1420，录音回放时间为 20s，主要用于实现片断回放功能。将语音可以分成以下两段进行第一段为“呼叫中心求救”的报警呼救音，第二段为“警报已解除”的解除呼救系统警报音。

### 2.1.2 跌倒自动报警装置

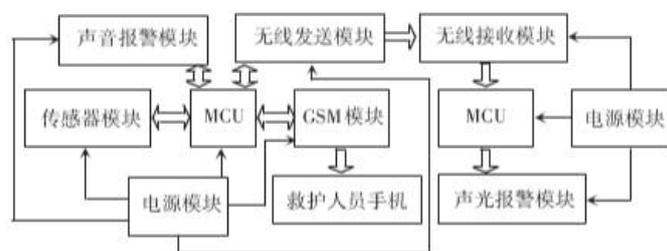


图 1.2.1 系统结构框图

人体跌倒设计中，常用的跌倒检测算法是阈值判断。跌倒时，ADXL345 传感器网络传输至主控芯片的单一的 X 轴加速度发展变化的数据不具备明显的规律，不能及时提出一个特征量作为一种判断依据，Y 轴、Z 轴也如此，实际情况中由于跌倒管理复杂、多样，使得 3 个轴的加速度变化影响规律各不相同。<sup>[4]</sup>因此引一个新特征量，即总加速度强度  $AVM_{XYZ}$

$$AVM_{XYZ} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

$AVM_{XYZ}$  是三轴加速度的矢量和，其值代表人体运动的强度。 $A_x$ 、 $A_y$  和  $A_z$  分别表示 X 轴、Y 轴、Z 轴加速度的大小。利用  $AVM_{XYZ}$  值大小来判断是否跌倒，简化了计算过程。

跌倒检测算法结合总加速度强度和人体倾角，通过大量实验选择 2 个总加速度阈值和 1 个倾斜阈值， $AVMH$  是总加速度高阈值， $AVML$  是总加速度低阈值， $AT$  是倾斜阈值，当  $AVM_{XYZ} > AVMH$  时，表明人体受到强烈冲击或有剧烈运动，在该算法中表示产生跌倒动作。当  $AVM_{XYZ} < AVML$  时，说明人体处于不活跃状态，在该算法中表示跌倒后静止状态的信息或动作幅度相对较小状态。当  $\theta < AT$  时，表示人体躺在地上，在这个算法中，是指摔倒后平躺在地上。

人体倾角是指人体与垂直轴即 Y 轴的夹角。一般这情况下，人体产生倾角在  $50^\circ$  以上，跌倒后一般在  $10^\circ \sim 25^\circ$  之间，通过设置一个合适倾角进行阈值即可将跌倒行为和日常生活行为区分开。人体在处于静止状态时，倾角计算表述如式所示。

$$\theta = \arcsin \frac{|A_y|}{g}$$

跌倒事件需满足 3 个条件:第一,  $AVM_{XYZ} > AVM_H$ ; 第二, 在第一个条件下测量, 经 3s 后, 测得  $AVM_{XYZ} < AVM_L$ ; 第三, 如果第二个条件成立, 测量  $\theta$  值, 若  $\theta < AT$ , 则判定跌倒。[5]

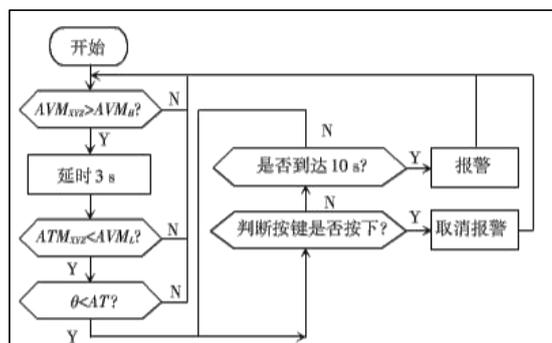


图 6-10 跌倒检测算法流程图

报警器, 用于使用拐杖的人跌倒的情况下发出报警提示;

信息处理模块, 与报警器连接, 用于在根据角度检测装置检测到的信号进行处理, 报警器进行报警。从而在不影响检测准确性的基础上, 降低了误判概率。除此以外, 为了减少判断失误带来的不便, 拐杖通过紧急呼救装置的一键报警模式来设置一分钟等待模式, 在这一分钟内, 报警器会不断发出声音来引起使用者或周围人群的关注, 如若是发生误判现象使用者可以取消报警, 如果确实有意外发生, 且在使用者意识不清的状态下, 拐杖在一分钟内, 可以由其他人按住报警模式, 实现一键报警, 但是在没有人注意到使用者摔倒的情况下, 一分钟后, 拐杖会自动进行报警。

### 2.1.3 手电筒装置

手电筒照明系统采用 LED 灯进行照明, 在拐杖的一端放置 LED 灯, 包括电路板和 LED 芯片。该装置的特征在于所述的电路板上设有可容纳一个安装 LED 芯片的反光凹孔, 杯装的凹孔可直接设置在电路板上, 使拐杖结构可以更加轻便, 利用凹孔对 LED 光纤进行反射叠加, 使亮度大大提高。

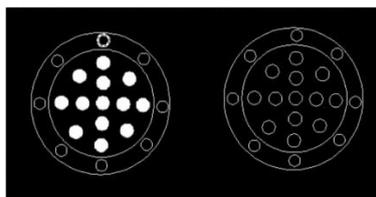


图 1.3.1 高亮度 LED 灯

手电筒设计, 正面有高亮度额度的 LED 灯, 拐杖的手电筒还可以进行  $90^\circ$  的调节 (电筒平行地面和垂直地面之间进行调节) 用来照亮不同方向的路面情况。

### 2.1.4 导航定位装置

#### 1、北斗定位模块

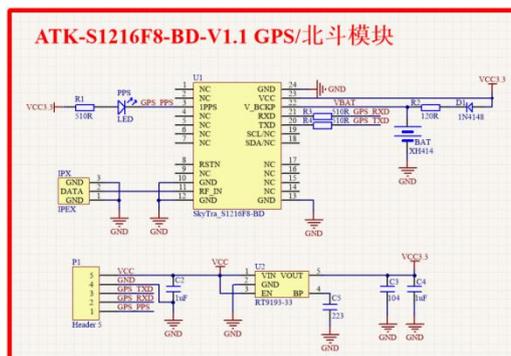


图 1.4.1 ATK-S1216F8-BD GPS/北斗模块原理图

GPS/北斗模块成功定位后的照片，可以得到当前地点的经纬度、高度、速度、定位模式、用于定位卫星数、可见卫星数和 UTC 日期时间等信息。

使用 GNSS\_Viewer 软件，通过 TTL 转串口模块将该定位模块连接至电脑上，设置好合适的波特率，可以看到，此时可以用于进行定位的卫星数更多了，其中，可以清楚的看到北斗和 GPS 用于定位的卫星数目，模块在定位成功后，可以看到 ATK-S1216F8-BD GPS/北斗模块的蓝灯开始闪烁。

## 2、卫星定位模块

整个系统主要由单片机控制、GPS 定位、语音识别、GSM 通信模块组成。工作原理是：

ATK-S1216 GPS 加北斗双模手机定位系统模块的卫星进行定位分析功能，随时定位用户，将当前经纬度信息与预先存储在手杖中的路径信息进行比较，如果超过指定范围，则提供提示信息，帮助用户返回指定范围，并向监护人发送 GSM 短信报警和帮助。信息内容包括当前位置信息、时间等。

利用角度传感器检测手杖是否倒下，手杖与老人一起掉落一定时间以上后，向监护人发送 GSM 的短信息进行通报，被求助的监护人可以随时通过邮件向智能手杖询问现在的位置。监护人可以同时通过 GPRS 建立一个智能手杖和网络进行连接，在地图上数据显示系统实时位置和步行轨迹，监控使用者的活动时间范围。

接收信号 2G 信号下的 GSM 频带：850/900/1800/1900MHz（这四个频带可供装置在全世界使用）的通用无线分组服务中传输信号。

表 1.4.1 GPS 指示灯和通讯网络指示灯详情表

灯	功能	慢闪	快闪	灯灭
蓝色	GPS 指示灯	GPS 定位中	定位成功	GPS 休眠
红色	GSM 指示灯	搜网中	搜网成功	GSM 休眠

## 2.1.5 电子围栏模块

GPS 电子围栏是利用 GIS 空间算法实现的虚拟区域围栏技术，可以在重图上规划圆的区域、多边形的区域、线性的区域、圆的区域等区域。然后，通过将该区域与相关智能位置的硬件终端 ID 相关联，可以实时判断终端是否进入该区域围栏。

通过再 WEB 侧和 APP 侧计划区域的电子围栏，与相关的设备 ID 相关联。这样在后台记录该区域的纬度和经度数据和相关的设备 ID，并在设备运行中不断将纬度和经度数据发送到后台 后台实时进行计算，判断当前纬度和经度

的数据是否在该区域内，如果进入区域内，则进入围栏，触发警报并展示在前端，记录进入的时间。离开同一围栏的时间也可以同样记录，在此围栏内停留的时间也可以记录。

## 2.2 拐杖的机械结构

### 2.2.1 拐杖椅子结构

折叠式拐杖椅主要由椅面，连接件，支撑架三部分组成，可实现打开与折叠式收缩一体化，简洁轻便，节省空间。利用双摇杆机构实现折叠拐杖椅下部支撑架的折叠与收回。



图 2.1.1 折叠式拐杖椅整体设计

为了实现折叠式拐杖椅的折叠，将椅面分为左中右三部分，中间板面与上部连接件相连，两侧板面用销与中间板面相连，可实现板面的折叠。两侧板面上设置滑槽，与上部支撑架末端相接，形成曲柄滑块机构。

### 2.2.2 拐杖夹子结构

采用齿轮机构与限位机构，兼顾力度与控制，略微牺牲开合幅度进行设计，可以自由控制开合，力度可自由控制，收到颠簸等剧烈环境变化时可以保持稳定及机构的有效性。

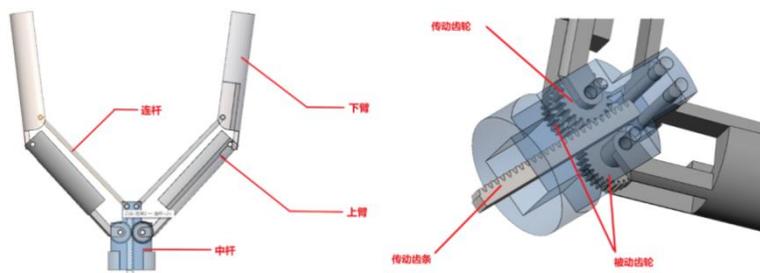


图 2.2.1 拐杖夹取装置设计模型

齿轮-齿条传动机构通过齿条的上下移动，从而带动齿轮旋转，进而使上臂张开与闭合，最终控制夹子的开合夹持物品。

### 2.2.3 拐杖伸缩结构

利用凸轮机构伸缩原理，利用管件的凹槽与外部相契合的凸起配合，使凸起按凹槽轨道运动，实现了管件伸缩，且这种伸缩可双向拉伸。



图 2.3.1 凸轮伸缩示意图

### 2.2.4 拐杖防震结构

在拐杖的底部适当安装弹簧，用于减轻老人行走时拄拐产生的颠簸感，保护老人的手腕关节。此外，在拐杖底部设计旋转小四脚的防滑橡胶垫，提高拐杖的减震性能。增加底部防滑垫可以减缓磨损，增长拐杖的使用寿命。

### 2.2.5 拐杖拐杖手机支架结构

支撑架上部杆于板面的连接轴线方向不平行，需要改变传动轴线方向，因此，考虑到使用万向联轴器来改变轴线方向。

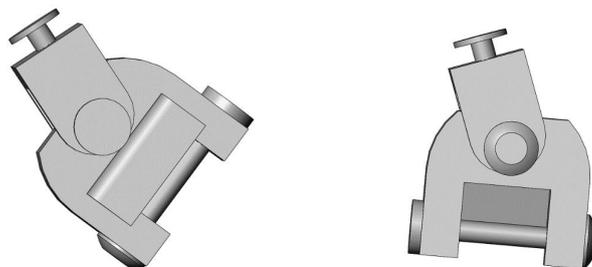


图 2.5.1 拐杖椅万向联轴器设计

### 2.2.6 拐杖生活功能结构

#### 1、雨伞夹结构

通过弹簧卡箍打孔安装在伸缩外杆上，实现雨伞的安置与拆卸，按动两个触角可使弹簧卡箍直径随使用力度变化，这样便可在雨伞装入的时候将手松开让弹簧卡箍收缩，

#### 2、防滑结构

在外部伸缩管的最下方设计同口径底座，底座的外缘直径远大于外杆，可以容纳安装四个防滑垫，并且在底座底部的中心，设计有一个可使夹子自由进出的通道。这样不仅解决了雨天路滑的危险，还增加了拐杖在日常使用中的稳定性。



图 2.6.1 防滑垫结构

#### 3、小药箱结构

存取紧急药品，保障健康安全

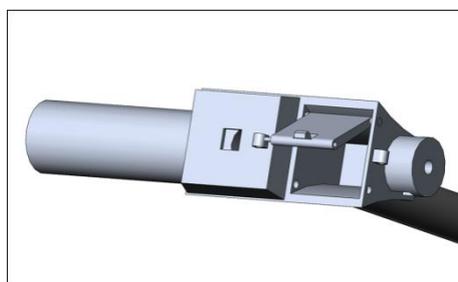


图 2.6.1 小药箱结构

## 3 实验效果

### 3.1 拐杖的智能系统

#### 1、紧急呼救装置

##### (1) 电源开机启动设置

将一张 SIM 卡插入①卡槽位置，对装置进行设置，可以在 SIM 卡上存储三个紧急呼救号码，当发生意外情况需要紧急呼救时，装置会依次向三个号码拨出紧急呼救电话。①结构内，有 USB 充电接口，电池续航能力强，长按③电源开机键，当⑧GSM 指示灯开始闪烁时，证明装置已经启动，此时装置可以正常运行。

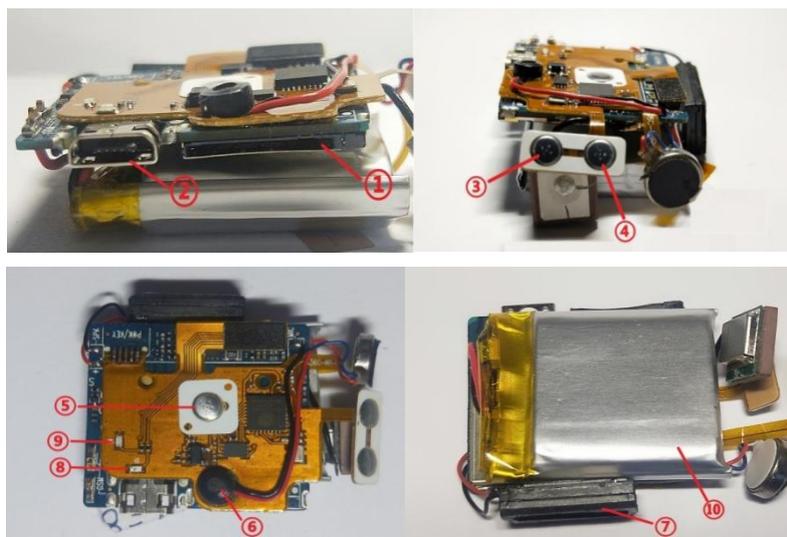


图 3.1 部分结构示意图

①SIM 卡卡槽；②USB 充电接口；③模块开机电源键；④拨号键；⑤SOS 一键紧急呼救报警键；⑥收音孔；⑦扬声器；⑧GSM 指示灯；⑨GPS 指示灯；⑩可充电 3.7V 500mA 锂电池

##### (2) 一键紧急呼救设置

在拐杖系统开启的前提下，按下“SOS 按钮”4 秒钟，直到拐杖开始拨打 SOS 号码，这意味着紧急救助功能开始工作。若需要停止拨号，短按“电源键”。装置会轮流给三个号码拨打电话，使用者可以通过按住⑤SOS 紧急呼救键三秒以上，装置发生震动后即电话拨打成功。若拨打出的第一个号码无人接听或者其他情况，装置会自动拨打第二个号码，循环往复拨打三个号码。但是如果因为失误操作误拨了紧急求救电话，可以按③电源键取消。其次，④拨号设置键是对紧急呼救号码进行选择，按该键则会一直拨打装置中存储的第一个号码。

#### 2、跌倒自动报警装置

通过 APP 启动跌倒报警，当设备检测到跌倒状态，即发出一个报警铃声，如果为误报，请定位拐杖的使用者，在 15 秒内按电源键取消报警；如 15 秒内无任何操作，拐杖则会继续报警。

当跌倒报警发生时，可以选择以下四种报警方式：

- ①向 APP 报警；②向 APP 及主控号码手机电话报警；
- ③向 APP 及主控号码手机短信报警；④向 APP 及主控号码电话及短信报警；

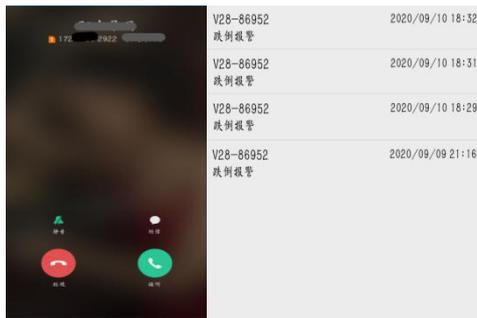


图 3.2 跌倒后的两种报警方式图

注：左图为电话报警，右图为手机 APP 收到的报警信息

### 3、手电筒装置

手电系统使用的纽扣电池 LED 聚光灯泡装置



图 3.3 拐杖的手电筒设置正面侧面图

### 4、导航定位装置

通过手机 APP 查看使用者出行定位：通过卫星信号与手机软件结合，让家人了解老人的出行记录，防止老人丢失。

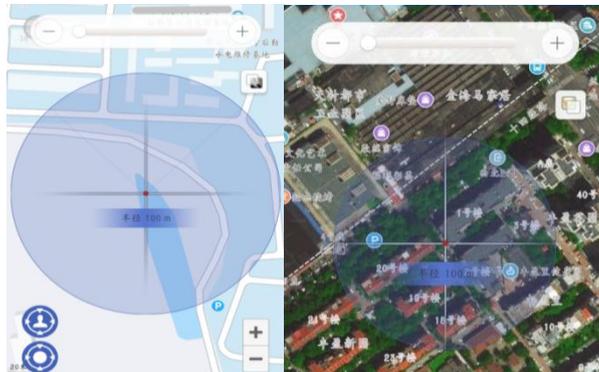


图 3.4 电子围栏圆形区域

历史轨迹查询：点击“历史轨迹”即可查看过去行走的轨迹，点击轨迹点即可显示位置时间和具体位置。因受手机流量及内存的限制，手机 APP 只可以查询 90 天内任意一天的历史轨迹。



图 3.5 手机 APP 查看拐杖使用者具体位置信息

## 3.2 拐杖整体结构

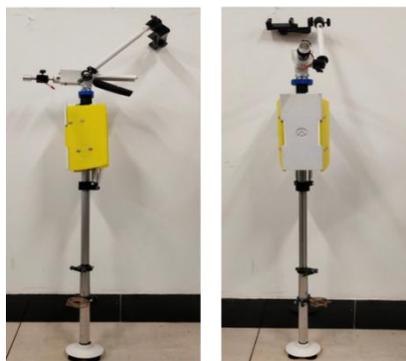


图 3.6 拐杖整体封装图

**拐杖椅：**便利的开合设计，只需轻转旋钮，即可自动打开成椅子，二段收合便捷省力。当合成一个手杖时，椅子进行整体结构重量会向上收至靠近把手的位置，让老人使用时可以不需费力即可通过前后挥动使用手杖。

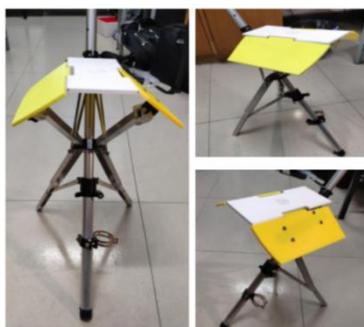


图 3.7 拐杖椅面展开图

拐杖、座椅、夹子、减震将多个功能复合设计，采用连杆结构、收缩结构、防震结构等机械结构实现其功能构想，将其组装结合。可以实现老人在使用过程中辅助行走、出行休息以及帮助使用者抓取物品。

## 4 应用前景

### 1、作品所具有优点

(1) 我们提出的复合型拐杖创新发建议具有可行性.复合型拐杖的创新在未来具有广阔的市场。

(2) 可以利用我国的北斗导航卫星技术以及雷达技术，对电子导盲杖实现进行升级，实现盲人的无障碍导盲。

(3) 在一定程度上改善了当代智能拐杖市场上一些产品功能单一，结构复杂的不足。

### 2、作品尚未实现模块

(1) 目前中国老人对于传统拐杖的使用仍然大于其他任何形式的拐杖，老人对新式拐杖的接受能力比较差。

(2) 本次设计并没有将产品的制作成本和经济价值计算进去，这也是这款拐杖推广于市场的一个难点。

---

### 参考文献

- [1] 【关注】2050 年我国老年人口将达 4.8 亿：应对老龄化已作为国家长期战略任务 [http://www.sohu.com/a/213127744\\_100014255](http://www.sohu.com/a/213127744_100014255)
- [2] 我国成功发射第 52、53 颗北斗导航卫星 - CHINA 中国 - cnBeta.COM <https://www.cnbeta.com/articles/tech/922159.htm>
- [3] 《智能呼救器设计制作》 <https://www.docin.com/p-509569966.html>
- [4] 《老人跌倒报警系统设计》作者:林木泉 <http://www.doc88.com/p-9955637027132.html>
- [5] 《老人跌倒报警系统设计》作者:林木泉 <http://www.doc88.com/p-9955637027132.html>

---

# 一种基于北斗定位的辐射探测仪设计

作者：王兴涛、胡菲、余彩霞

指导教师：王新蕾、刘恒

学校：南京信息工程大学滨江学院

---

**【摘要】**：设计了一种基于北斗定位的辐射探测仪，主要包括北斗定位系统、粒子辐射探测系统、数据通信系统（ESP8266 物联网模块）、电源系统、LCD 显示模块和远程数据实时显示终端。STM32F103 单片机作为控制单元模块，盖革-米勒计数器模块采集辐射数据，北斗定位模块采集地理位置信息数据，通过物联网模块 ESP8266 将数据传输到第三方物联网网站上进行实时显示，实现数据的远程实时化、可视化。系统可以对定点目标进行长期探测，也可挂载无人机等可移动装置上，对一些危险、环境复杂的地区进行辐射监测，并且能够有效减少探测人员与辐射源的直接、长时间接触。

**【关键词】**：北斗定位，盖革-米勒计数器，辐射探测，物联网

**【Abstract】** A radiation detector based on Beidou positioning is designed, It mainly includes Beidou positioning system, particle radiation detection system, data communication system (ESP8266 IoT module), power supply system, LCD display module and remote data real-time display terminal,. STM32F103ZET6 single-chip microcomputer is used as the core control unit module, Geiger Miller counter module collects radiation data, and Beidou positioning module collects geographic information data. The data is transmitted to a third-party Internet of Things website for real-time display through the Internet of Things module ESP8266 to achieve data Real-time and visualization. This system can perform long-term detection of fixed-point targets, and it can be mounted on mobile devices such as UAV to monitor radiation in some dangerous and complex areas. It can effectively reduce the direct and long-term contact between the detector and the radiation source.

**【Key words】** Beidou positioning, Geiger Miller counter, Radiation detection, IoT

---

## 1 引言

伴随重工业的发展、电子器件的普及，越来越多的粒子辐射正悄然地来到我们的身边。很多问题也就迎面而来，比如前一阵子出现的因担心基站辐射超标从而业主联名拒绝在小区内建设基站事件。如何方便地“看见”身边的辐射逐渐成为保证人们正常生活的一种需求。

此外，野外探险，矿区开发等活动在很多情况下都会涉及一些未知区域，在对当地情况没有足够了解的情况下盲目涉足一些放射物质浓度高的场所很有可能对当事人的身体造成不可逆的损伤。如何在保证当事人不近距离接触放射物质的前提下对未知区域进行辐射检测也是一个难题。

本作品基于北斗定位系统，以 STM32 单片机为核心处理器设计了一种粒子辐射探测装置，具有北斗定位、辐射探测、数据实时回传到网站等功能。利

用北斗定位系统覆盖范围广、全天候、高精度的优势，对被探测点的坐标进行实时记录，并且利用 ESP8266 物联网模块将采集的辐射和定位数据实时回传到网站上，用户只需要打开特定网址就能查看装置传回的实时数据，一方面让使用者能够轻松的“看到”目标点当前的辐射强度；另一方面，本装置十分轻便，能够挂载在无人机等可移动设备上，可以在避免用户与放射源直接接触的前提下获取到待测目标点的辐射参数，保证了使用者的自身安全。

## 2 系统概述

如图 1 所示，本系统由北斗定位系统、辐射检测系统（盖革-米勒计数器）、数据通信系统（ESP8266 物联网模块）、电源系统、便携式热点装置、LCD 显示模块和远程终端组成。使用者可以将该系统固定在某处，系统正常启动后即可实现数据回传，可以对目标点进行全天候的实时监测；也可以将该系统搭载在例如无人机的设备上，对地形复杂或是未有人涉足过的区域进行远距离探测，在使用者与目标地点可能潜在的放射源不近距离接触的前提下就能实现对探测目标点经纬度、海拔高度和辐射强度等信息的获取。当系统正常启动后，北斗模块就能够获取系统所在地的经纬度、海拔高度并通过串口发送给主控单元 STM32，同时盖革-米勒计数器也将探测到的辐射数据上传给 STM32，主控对采集到的信息进行处理后按照特定的数据格式发送给物联网模块 ESP8266 进行数据回传，用户打开特定的网址即可看到系统回传的信息。为便于了解 ESP8266 在初始化过程中的进展，当 ESP8266 成功连接到 WiFi 后会向主控进行反馈，主控再在 LCD 屏幕上显示“WiFi CONENECTED! ”，在建立 TCP 连接并做好数据上传准备时，模块会再次向主控进行反馈，主控再在 LCD 屏幕上显示“READY FOR TRANSMISSION! ”，表示 ESP8266 初始化成功，等待数据上传。在上传盖革-米勒计数器和北斗定位模块的数据时，STM32 还会发送一份到 LCD 上进行显示，便于安装时进行调试。数据更新时间默认为 1 分钟，可视情况进行调节。

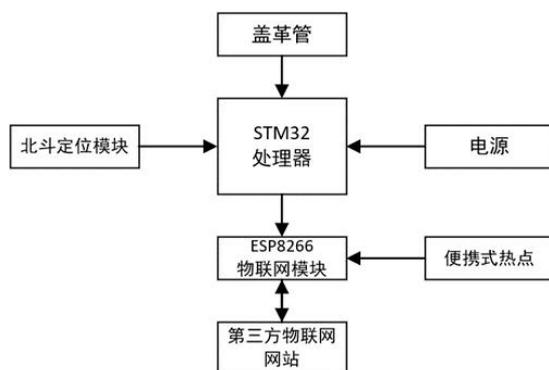


图 1 系统整体设计框图

## 3 硬件设计

### 3.1 北斗定位模块

ATKATK -S1216F8 北斗模块是一款高性能 GPS 北斗双模定位模块。模块采用 S1216F8S1216F 模组，体积小，性能优异；模块可通过串口进行各种参数设置，并可保存在内部 FLASH，使用方便；模块自带 IPXIPX 接口，可以连各种有源天线，建议连接 GPS 北斗双模有源天线；模块兼容 3.3V/5V 电平，方便连接各种单片机系统；模块自带可充电后备池，可以掉电保持星历数

据。其集成度高、功耗低，且尺寸较小，非常适合作为便携设备组件使用。在其与北斗导航系统信号传输的同时将地理位置传输到控制单元模块，并通过数据存储模块进行短期的地理位置数据存储，最终将地理位置通过数据传输到控制中心数据处理系统终端。

该模块电路图如图 2 所示。

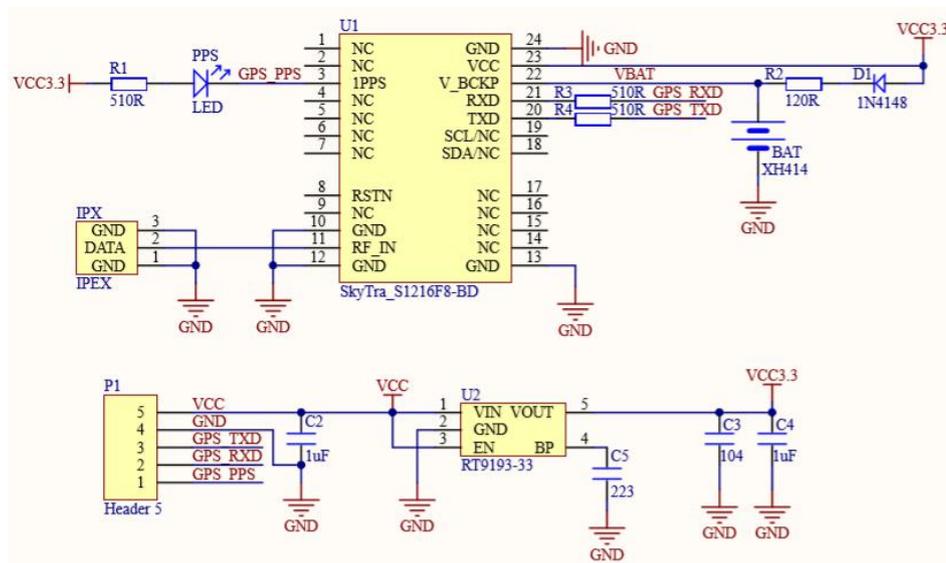


图 2 北斗定位模块电路图

### 3.2 盖革-米勒计数器

盖革-米勒计数器装置包括探测管、调理电路以及计数装置，其中调理电路由 555 定时器构成，其计数输出端可以连接单片机引脚记录探测数据。整个系统硬件结构见图 3，电源部分未给出。

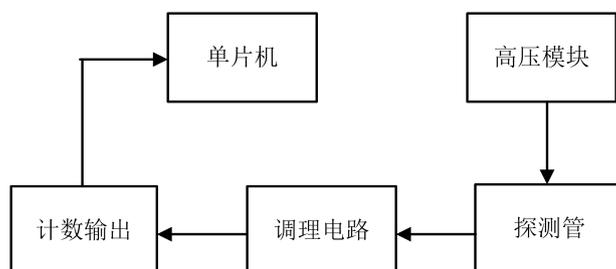


图 3 盖革-米勒计数器硬件结构图

盖革-米勒计数器关键部分在于其气体探测管，此气体探测器的设计原理是利用了惰性气体在高压下遇到辐射粒子会产生电离的性质。我们所使用的是外壁为金属，两端为绝缘物质的探测管，在探测管内先冲入惰性气体，然后在气体探测管的中心线上插入一根导电丝，并在导电丝和气体探测器的管壁之间加入高伏电压（此处电压不可超过管内惰性气体的击穿电压）。因此在正常通电的情况下，高伏电压不会使管内的惰性气体因电压过高而电离，并且处于即将电离的临界状态。而此时若有辐射粒子射入探测管中，辐射粒子的能量则很容易使探测管内的惰性气体因电离而产生一个微弱的脉冲电信号，并在导电丝与金属管壁之间瞬间放电，从而通过导电丝输出一个脉冲电流信号。此时我们通过测试可以合理地选择加在导电丝与金属管壁之间的高伏电压，从而可以通过对粒子的最低能量的控制进行辐射粒子种类的筛选。气体探测器的计数率与导电丝和金属管壁间所加高伏电压值的关系称为“坪特性”，而“坪特性”是选择

气体探测管的主要参数，图 3 所示为典型的坪特性曲线，其中计数率基本不随电压变化的部分则称为“坪”。

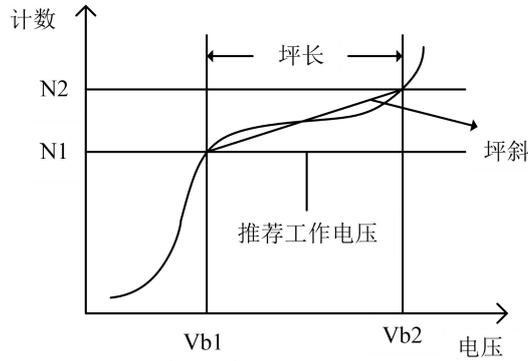


图 4 典型坪特性曲线图

由图 4 曲线可知

坪长:  $V_p = V_{b2} - V_{b1}$

坪斜:  $(N_2 - N_1) / 0.5(N_2 + N_1) \times 1 / V_p \times 100\%$

$N_1$ 是在电压 $V_{b1}$ 处的计数率

$N_2$ 是在电压 $V_{b2}$ 处的计数率

不同的盖革-米勒计数器有不同的坪曲线，在使用盖革-米勒计数器之前应正确选择其推荐工作电压，保证盖革-米勒计数器可以正常进行粒子探测工作。盖革-米勒计数器电路图如图 5 所示。

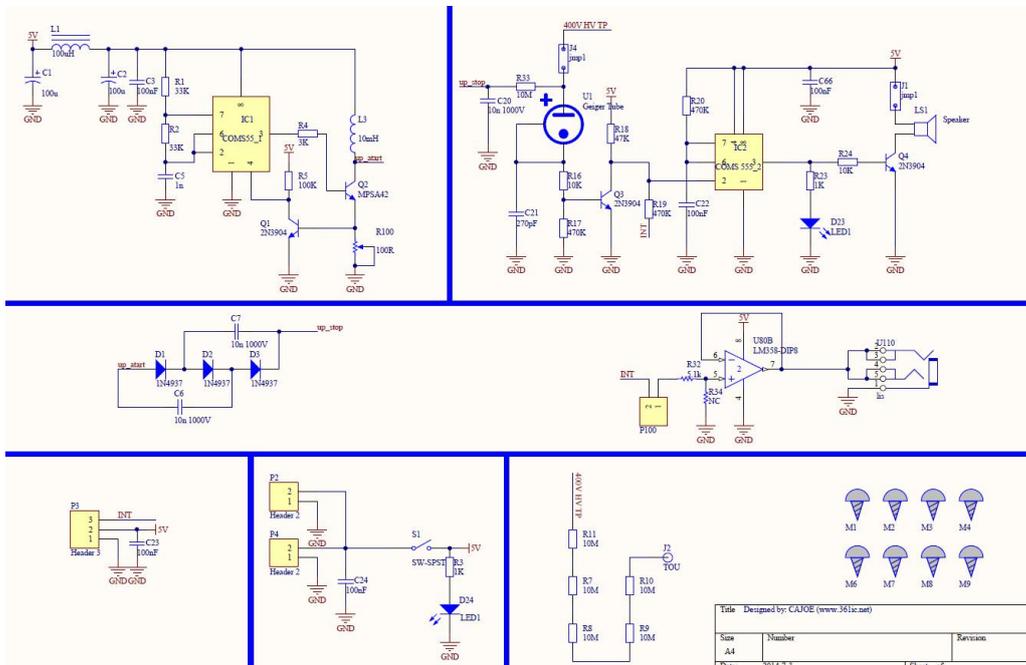


图 5 盖革-米勒计数器电路图

对盖革管进行了相关测试实验，分别测量了盖革管的坪特性曲线、调理电路输入与输出信号的对比以及同一辐射源与盖革管的距离对盖革管探测辐射的影响。根据此三则实验的数据及分析，初步掌握了盖革计数器的工作环境、工作性能及影响因素有了一定的了解，以便后续对其深入探究。

(1) 坪特性测试实验通过在一定范围改变盖革管两端电压，观测其计数率来得到数据并分析盖革管的坪特性曲线，从而得到盖革管的推荐工作电压。测试数据表格见表 1。

表 1 电压与计数率测试数据表

电压/V	330	340	350	360	370	380	390
计数率	3000	5500	5800	6000	6800	8000	10000

电压与计数率关系见图 6 所示，计数率在所加电压范围为 320V~340V 时，计数率随电压改变变化剧烈，而当电压范围在 380V~400V 之间变化时，计数率随电压值改变变化不大，所以得出设计中盖革管的推荐工作电压范围最好在 390V 左右。

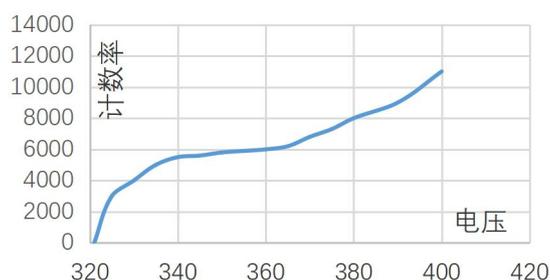


图 6 坪特性曲线图

(2) 调理电路信号输入输出对比实验通过用示波器测量单稳态触发器的输入信号与输出信号并进行信号对比分析探究单稳态触发器的实际功能。如图 7 所示为调理电路的输入信号，及盖革管捕捉到 $\gamma$ 粒子后输出的电脉冲信号，可以看出其为一个不稳定的高频电脉冲信号，存在时间短，难以被记录。而如图 8 所示为调理电路输出端信号波形，可以看出是一个幅值稳定，有固定频率的方波脉冲信号，这样的脉冲信号容易被捕捉记录并计数，且容易被单片机捕捉以做后续数据处理。

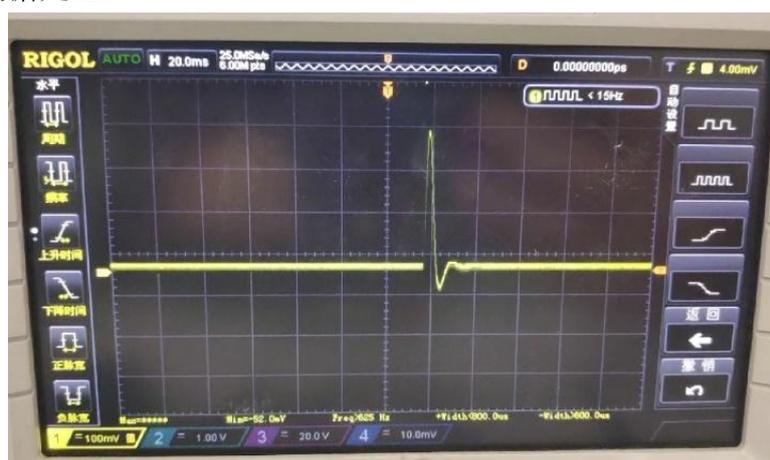


图 7 输入信号图

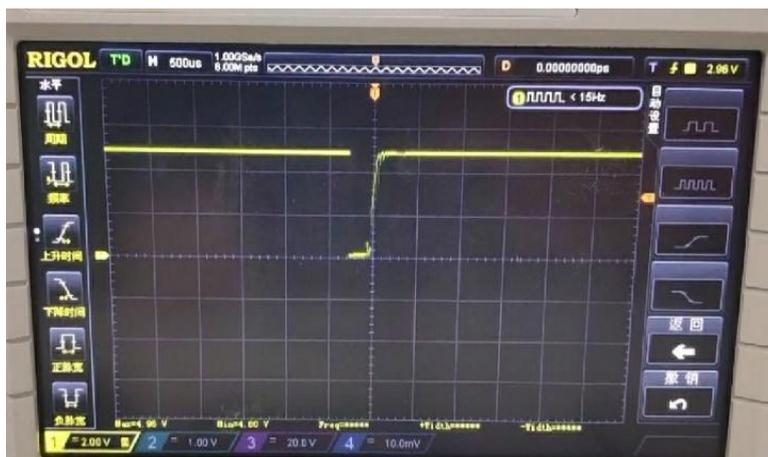


图 8 输出信号图

(3) 辐射源距离实验通过调整辐射源与盖革管的距离并测量数据来测试出辐射源距离对探测数据的影响，测试数据见表 2（表 2 中粒子数为每分钟探测到的粒子数）。

表 2 探测粒子数与辐射源距离表

距离/毫米	5	10	20	30	40	50
粒子数/分钟	18	14	12	10	8	5

其具体关系见图 9 所示，可以看出辐射源被探测到的粒子数，主要为 $\gamma$ 粒子流，与盖革管距离辐射源的距离成近似反比的关系，可知当辐射源靠近盖革管时测量数据更为精确。

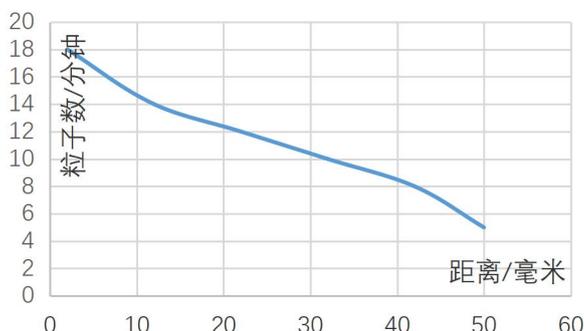


图 9 辐射源距离与探测关系图

### 3.3 数据通信系统

数据通信系统主要由 ESP8266 物联网模块和终端数据显示网站构成。

(1) ESP8266 物联网模块：ESP8266 芯片是一款串口转无线模芯片，内部自带固件，用户操作简单，无需编写时序信号。模块内置了 TCP/IP 协议栈，能够实现串口与 WIFI 之间的转换。通过 ATK-ESP8266 模块，传统的串口设备只是需要简单的串口配置，即可通过网络（WIFI）传输自己的数据。模块兼容 3.3V 和 5V 的单片机系统，可以方便地与产品进行对接。模块支持串口转 WIFI STA、串口转 AP 和 WIFI STA+WIFIAP 的模式，从而快速构建串口-WIFI 数据传输方案，方便设备使用互联网传输数据。

ESP8266 电路图如图 10 所示。

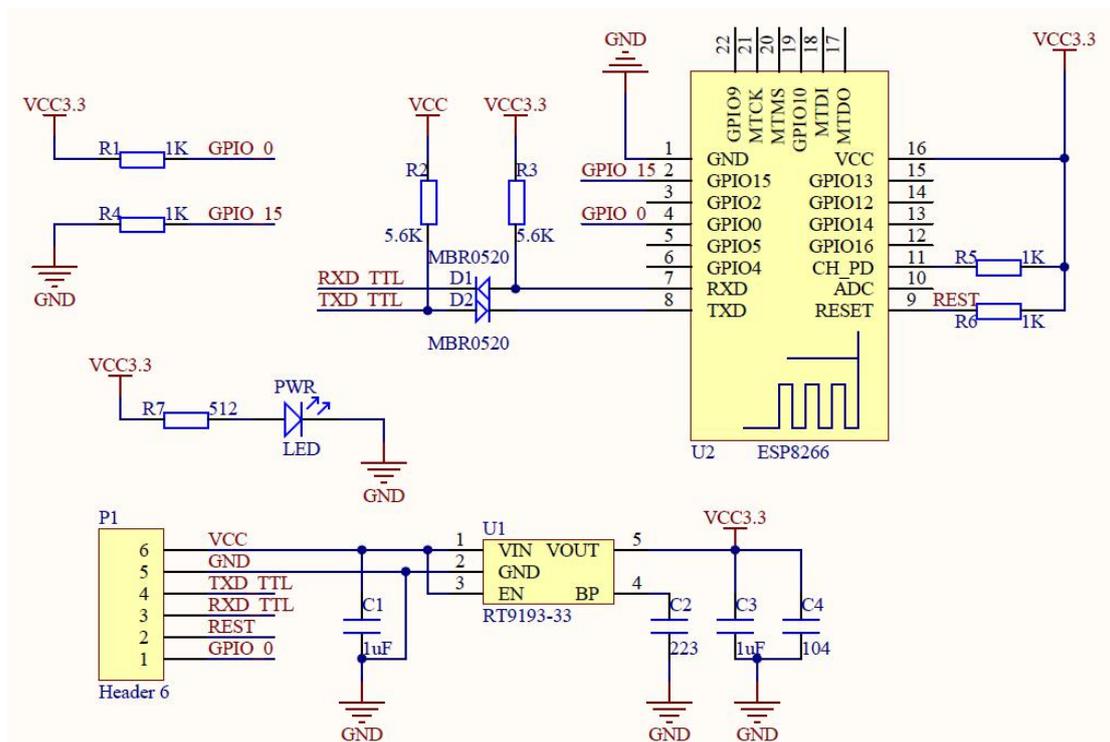


图 10 ESP8266 电路图

(2) 终端数据显示网站：使用乐为物联云平台，用户可将物联网节点数据上传该网站进行实时显示。网站与 ESP8266 之间通过 TCP 协议建立连接，主控将处理好的信息以串口的形式发送给 ESP8266，ESP8266 再将数据上传到网站。网站分为管理者界面和用户界面。在管理者界面，管理者可对设备进行管理，对数据类型进行修改并限定上传时间间隔等；在用户界面，用户可以获取设备回传的实时数据，能够第一手掌握远在甚至是千里之外的目标点的辐射参数。还能够对数据设置红线，当超过红线后可以通过短信发出警报提醒用户。

本次测试将此基于北斗的辐射探测仪固定在无人机上，进行了一段距离的检测，数据上传至网站，网站界面各参数显示如图 11 所示。

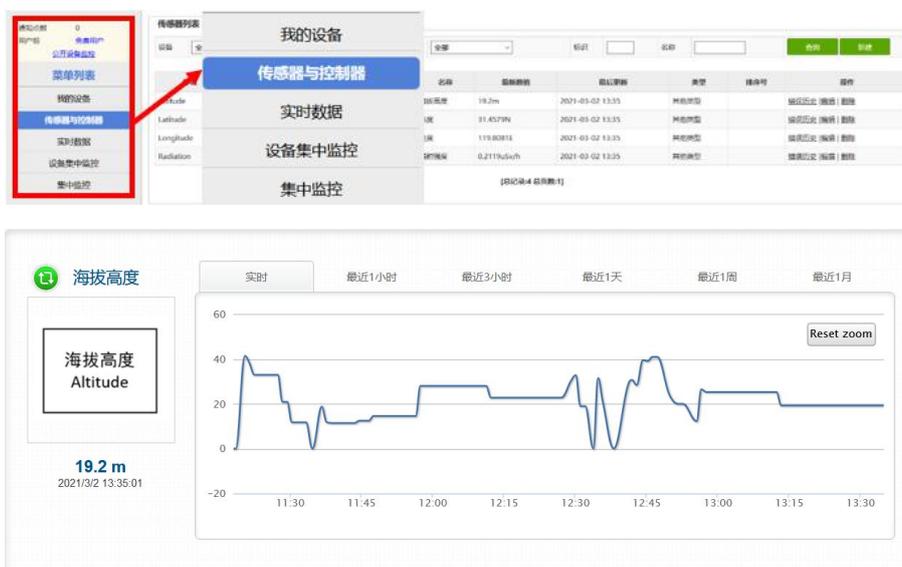




图 11 终端数据显示界面

### 3.4 LCD 显示模块

采用 TFTLCD 模块作为显示模块，开机后自动显示“WELCOME”，ESP8266 成功连接到 WiFi 后显示“WIFI CONNECTED!”，数据传送准备完毕后显示“READY FOR TRANSMISSION!”，当数据开始传送后会在屏幕上显示上传的定位、海拔和辐射强度数据，便于安装时进行设备调试。

其原理图如图 12 所示。

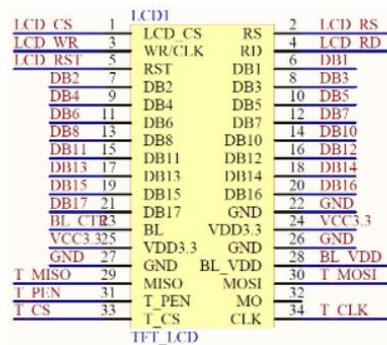


图 12 TFTLCD 模块接口图

## 4 程序设计

### 4.1 整体设计

系统首先初始化 I/O 口、时钟、串口和各个模块，通过串口发送指令使 ESP8266 连接到 WiFi 并建立 TCP 连接，做好数据传送准备。然后分别从北斗模块和盖革-米勒计数器中读取数据并进行处理，然后分别发送给 LCD 屏进行显示和 ESP8266 进行上传。当经纬度、海拔高度和辐射强度上传完成后视为一次数据完成，此时如果退出透传，数据传送就终止；如果不退出透传，在短暂延时（可调）后系统会进入循环，再次对更新的数据进行上传。本系统整体软件流程图如图 13 所示：

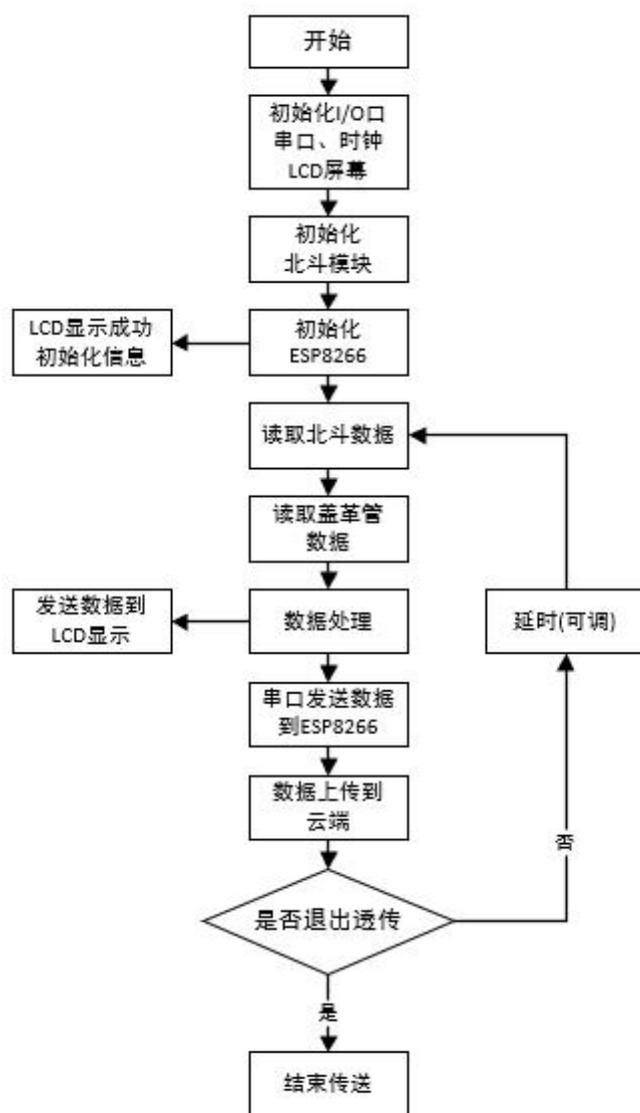


图 13 系统整体程序流程图

### 4.2 北斗定位模块

在系统初始化时通过串口发送指令修改北斗定位模块的波特率为 115200bps，定位信息更新速率为 5Hz 并判断模块是否在位，如不在位则重新设置波特率及定位信息更新速率。当模块正常运行后将获取到的定位通过串口发送给单片机进行处理。北斗模块初始化流程图如图 14 所示。

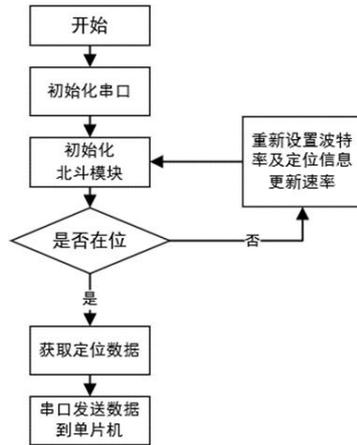


图 14 北斗模块程序流程图

### 4.3 ESP8266

ESP8266 采用原生的 AT 指令集，单片机通过串口发送 AT 指令对模块进行控制。在系统开始运行后单片机发送指令将模块设置为 AP 模式，然后重启模块。模块重启完成后单片机向模块发送需要连接的 WiFi 名称及密码，成功连接后再将模块设置为单连接模式并开启透传模式，准备数据传送。以上的每一步都通过模块与单片机之间的反馈来完成，只有接收到模块的反馈信号后单片机才会发送下一条指令，这样既避免了指令传送过快造成的错误，又在最大程度上节约了模块初始化的时间。ESP8266 初始化流程图如图 15 所示。

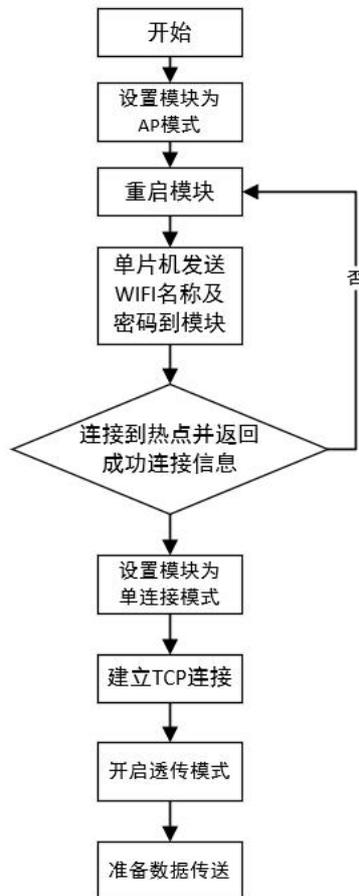


图 15 ESP8266 初始化流程图

## 5 实物展示

硬件实物图如图 16 所示。该设计由 STM32,LCD,有源天线, 辐射探测器, 北斗模块, ESP8266 五部分组成。

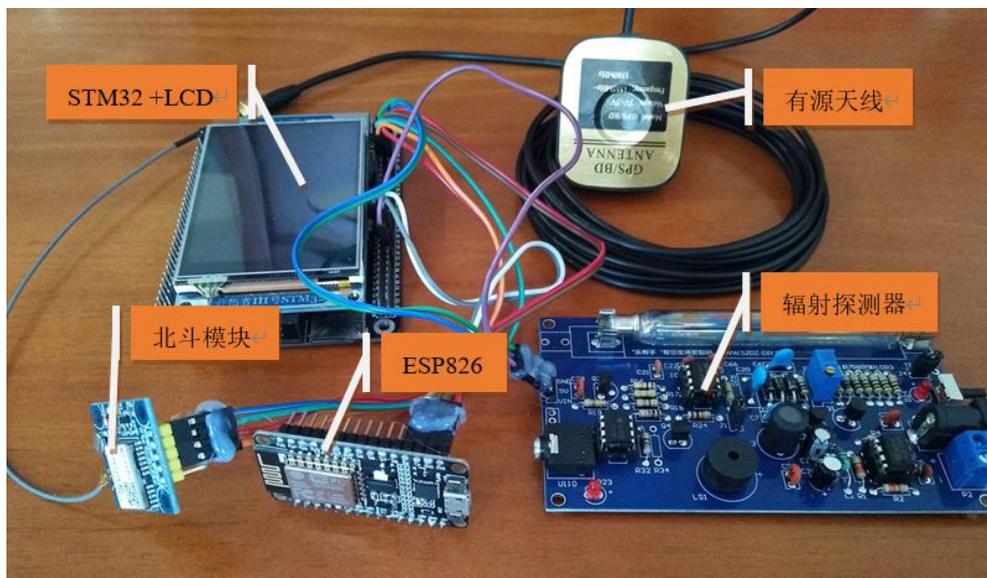


图 16 实物硬件

LCD 显示效果如图 17 所示。开机后 LCD 默认显示“WELCOME”字样，当 ESP8266 成功连接上 WiFi 后，LCD 会显示“WIFI CONNECTED!”字样，当 ESP8266 成功建立 TCP 连接，网络传输准备就绪后，LCD 显示“READY FOR TRANSMISSION!”字样。所有提示信息均用红字显示。当数据上传开始时，系统会同时发送两份信息，一份通过网络上传到网站，另一份通过 LCD 进行显示。数据字样均用蓝色显示。其中 Longitude 表示经度，Latitude 表示纬度，Altitude 表示海拔高度，Radiation 表示辐射强度。辐射强度单位为 uSv/h（微希沃特每小时），精度可达 0.0001。默认更新时间为 1 分钟，可视情况进行自由调节。



图 17 LCD 显示

## 6 结语

本系统基于北斗定位模块设计，可以对特定目标点进行辐射监测并将数据实时回传，用户只需打开一个特定网址就能了解特定位置的辐射情况。在保证

---

信息获取的便捷性的同时也保证了用户的自身安全,用户不需要近距离接触放射源,即使远在千里之外也能随时获取目标点的辐射参数。还能够设置数据红线,当辐射超标后能够及时向用户发出提醒。

本设计极大的发挥北斗定位的优势,实现智能化、物联网化和辐射数据的实时可视化,既能定点全天候监测,也能够挂载在无人机等机械设备上移动数据监测和实时回传。具有灵活性大、稳定性强、功耗低、成本低、便捷等优势,可以广泛应用于生活辐射监测、野外探险目标地事先考察、矿区开采预先探测、放射性设备辐射监测等领域。

### 参考文献

- [1] 沈林涛,王凯. 基于物联网技术的实验设备监控系统设计与实现[J]. 软件导刊, 2021, 20(02):119-123
- [2] 彭湃. 基于单片机的变电站温湿度 Wi-Fi 手机监测研究[J]. 农村电气化, 2021, (01):58-59.
- [3] 余佳琦,杨丽,杨岭玉,段海龙. 基于 ESP8266 的无线信息传输系统设计[J]. 天津职业技术师范大学学报, 2019, 29(04):19-22.
- [4] 彭湃. 基于单片机的变电站温湿度 Wi-Fi 手机监测研究[J]. 农村电气化, 2021, (01):58-59.
- [5] 王海姚. 远程监视与智能控制系统设计[D]. 辽宁:大连交通大学, 2019:13-16.
- [6] 王俊铭,火久元,穆聪,牟林,米晏殊,刘梦,巨涛. 北斗高精度定位的地质灾害监测系统的设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(02):44-47.
- [7] 苏日古格,于新海,国芳,王睿聪. 基于 STM32 单片机的北斗/GPS 双模定位系统设计及测试[J]. 信息与电脑(理论版), 2021, 33(01):13-16.
- [8] 杨大鹏,张丕状,姚金杰,解尧婷,胡继志. 基于物联网的高压电缆远程监测系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(09):85-89.
- [9] 李卫兵,曹焯,于京,熊煜昆. 基于北斗定位的综合预警系统设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(21):80-84
- [10] 王艳秋,苏晨. 一种基于北斗技术的水情监测装置的设计[J]. 中国科技信息, 2018, (19):84-85.
- [11] 陈嘉源,吴黎明,邓耀华. 嵌入式核辐射远程监测系统的设计[J]. 自动化与信息工程. 2014, 35(04):34-37.

---

## 基于北斗授时模块的水下 PNT 节点时间校准系统

作者：宋卓远、张一诺、杨子文、宋健

指导教师：左名久、王希晨

学校：海军工程大学

---

**【摘要】**：定位、导航与授时（Positioning Navigation and Timing, PNT）技术是交通、电信、电力以及基础科研等领域必不可少的元素，也是目前世界上具有代表性的研究方向。随着卫星导航系统的建设和发展，国际上正逐步形成以卫星导航系统为核心的天基 PNT 系统，PNT 服务也由此带来了革命性的变化。随着海洋的重视程度提高，具有长期水下隐蔽性和机动性的工作平台为海洋建设做出了巨大贡献。对此类工作平台的精准授时是其完成任务并保证自身安全的重要保障之一，因此，研究具有水下授时能力的系统，对国家的海洋发展和海防建设具有举足轻重的意义。但由于卫星无线信道受海水阻隔的原因制约了以卫星为基础的 PNT 系统在水下的直接应用，因此需要布置水下星座来解决水下航行器的授时问题。由于海洋面积广袤，远海水下 PNT 节点散落分布和基于水声信道的特点，对于长距离间隔的节点，无法通过无线方式自动地进行时钟校准和水下节点充电补能。本文通过设计一套水下连接系统，利用北斗授时功能对水下 PNT 节点进行时间校准和充电补能。

**【关键词】**：北斗授时，水下连接器，水下 PNT，节点，校准系统

**【Abstract】** Positioning Navigation and Timing (PNT) technology is an essential element in the fields of transportation, telecommunications, electric power and basic scientific research, and it is also a representative research direction in the world. With the construction and development of satellite navigation system, the space-based PNT system with satellite navigation system as the core is gradually formed in the world, and the PNT service has brought revolutionary changes. With the increasing importance of the ocean, working platforms with long-term underwater concealment and mobility have made great contributions to the ocean construction. Accurate timing of such working platforms is one of the important guarantees for them to complete tasks and ensure their own safety. Therefore, it is of great significance to study the system with underwater timing capability for national Marine development and coastal defense construction. However, the direct underwater application of satellite-based PNT system is restricted by the sea water barrier of satellite wireless channel, so it is necessary to arrange underwater constellation to solve the timing problem of underwater vehicle. Due to the vast area of the ocean, the scattered distribution of underwater PNT nodes in the far sea and the characteristics based on underwater acoustic channel, it is impossible to automatically carry out clock calibration and recharge of underwater nodes with wireless means for nodes with long distance intervals. In this paper, a set of underwater connection system is designed, and the Beidou timing function is used to calibrate the time and recharge the energy of underwater PNT nodes.

**【Key words】** Beidou timing, underwater connector, underwater PNT, node, calibration system

---

## 前言：应用背景

向海图强，海洋资源和海洋军事一直都是我们关注的重点问题。海洋上的权益是一个国家的经济的血脉和国防的基石，想要建设一个强大的海洋国家，水下载体和平台在其中发挥着不可替代的作用。随着目前科技的发展，水下载体和平台对工作时的精准性的要求越来越高，因此开发针对水下载体导航和提供时间服务的系统就十分有必要。目前世界卫星导航行业发展趋于成熟，无线电中的卫星授时技术已经很发达。卫星导航系统采用了高稳定度的原子钟，所以可以提供精确的时间服务。但卫星授时时采用无线电波的形式进行的，对于水下载体来说已然不再适用。于是水下 PNT 系统成为了一个热门的研究方向。它通俗地讲，就是在精确的时间轴上，解决水下载体在哪、去哪和怎么去的问题。它是由三部分概念构成，分别是：P（定位技术），通过技术手段获得载体的实时三维位置信息；N（导航技术），通过技术手段获取载体的实时姿态、速度等运动信息，对其进行航路规划任务；最后一个 T（授时技术），便是本文的核心内容，它是指通过技术手段在水面和近水面接收准确的时间信息，保持并传递给用户。水下载体为完成任务，需要导航系统必须能够实时、高精度输出水下载体的运动状态测量信息。目前国内的水下授时技术能达到亚毫秒级的精度，可以满足水下载体对时间高精度的要求。水下 PNT 系统的组成并不是铁板一块，而是在一个个的指定海域由一个个的独立的 PNT 节点构成，每一个节点都是一个独立的工作单元，内部装有原子钟和电池，像一个个水下的小卫星。虽然工作原理相似，但差距仍比较明显，不仅如此，PNT 节点内部的性能和精度会随着使用期限的增加而下降，当其性能和精度下降时，就会提供错误的引导信息，不能以高标准的时效性通知载体。一般来说水下节点数月左右就需要进行一次时间的校准。所以为了解决这个问题，在近海或者关键水域，可采用带缆节点的工作方式，即每个 PNT 节点通过一根或数根海底缆线相连，通过缆线，对节点进行供电和时间校准。可是我国海域辽阔，面积广袤，同时远洋的定位需求也迫切，还通过缆系方法显然成本过于高昂。在相关海域定点的投放水下节点，让其在水底独立工作，为经过相关海域的水下载体提供定位和授时服务，这类独立水下 PNT 节点工作一段时间后需要进行补能和时钟校准。本文介绍的系统便是在此背景下，基于北斗的授时功能，开发一种可水下耦合连接的系统，通过水下机器人操作，充当北斗卫星和水下节点间的桥梁，来为水下 PNT 节点进行时间校准并利用无线充电功能对其充电，以便于节点可以长时间精准无误的为水下载体提供时间服务。

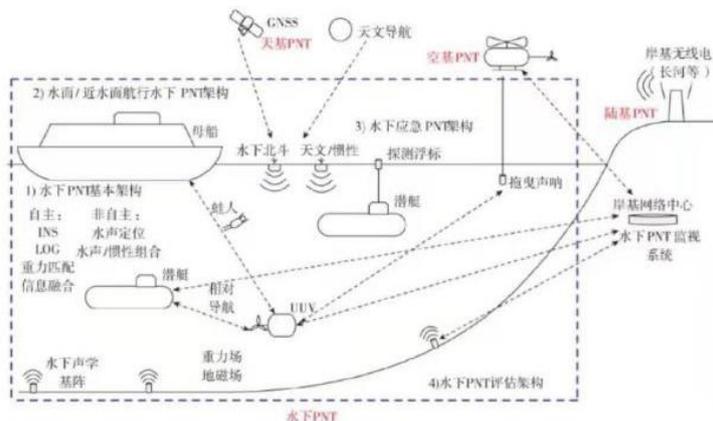


图1 PNT工作分布图

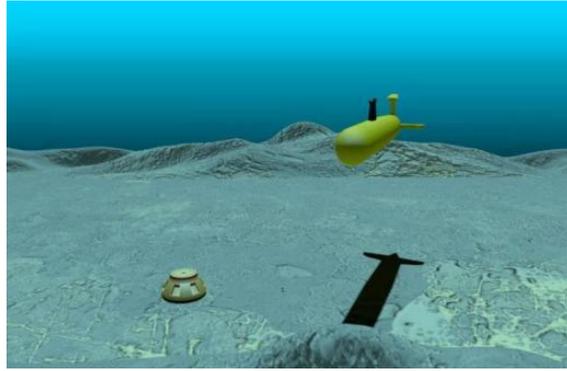


图 2 单节点 3D 效果图



图 3 水下 PNT 工作示意图

## 1 项目特点

### 1.1 创新性

对于水下 PNT 系统来说，海底 PNT 节点是不可或缺的一个组成部分，是为水下航行器、特别是数量众多的水下无人航行器进行时空定位的重要手段，由于水声信道的复杂性，和海域的覆盖性要求，不可能全部由海底光缆连接，大量的节点只能根据需求机动布设，独立工作，这些独立工作节点设备的能量时钟校准和能量补给是必须解决的技术问题。项目设计了一种可以水下耦合能量传输和以太网信息传输的水下对接插头，通过有缆水下机器人搭载，构建了北斗时钟信息水下传输链路，在水下插拔的同时能够为水下独立节点同时进行时钟校准和能量补给，解决了水下节点的长期工作难题，方案涉及的水下对接动作简单、可操作性强，一次对接可以让水下 PNT 节点重新工作数月时间，具有创新性和明确的实用价值。

### 1.2 先进性

(1) 采用对接耦合的无线 WIFI 传输技术，通过机械结构的特殊设计，在水下对接同时为高频 WIFI 信号构建无水传输环境，解决了无线 WIFI 传输无法在水下应用的难题。

(2) 采用无线电能传输技术，实现水下智能连接器中电能的耦合传输，从根本上解决了为水下 PNT 节点提供电能的问题，同时避免了传统水下插头高昂的造价和随着水深的增加带来的可靠性问题

(3) 通过多个设备的结合使用，构造了从太空到海底的授时信息传输链，实现了可靠的跨介质传输。

(4) 实现了自动水下节点时钟自动纠偏。

### 1.3 科学性

水下 PNT 的主要特点是工作环境为水下，不能直接利用卫星信号进行授时。水下 PNT 节点时间校准系统设计科学，环环相扣，它基于北斗授时功能，利用 NTP 协议和 PC 仿真与以太网相连接的方法，通过水下耦合的方法，通过近场无线传输的方式将电能、时间信息等传送到水下 PNT 节点，解决了这一大难题。它的科学性不仅在于设计理念，更在于设计原理。产生——传递——接收——再传递的体系每一步都有成熟可靠的设备来运行，可以最大程度的保证时间信号的精度和稳度，为项目实施的可行性提供了保障。

### 1.4 实用性

水下 PNT 节点时间校准系统的应用前景非常巨大，实用性十分之强。在本系统之外，要解决海底 PNT 节点的守时与能量补充问题无外乎有两种办法：一是将各个节点通过信号缆线串连，依靠缆线来进行时间校准和一些性能上的补充，海洋如此广阔，水下复杂，要是将每个海区、每个深度的节点通过缆线相连，肯定是不现实也是无法做到的；二是定期回收水下节点或者一次性使用水下节点来解决电能补充和时钟校准问题，这种方式的施工周期、使用成本均十分高昂。本设计的实用性在于它利用了有缆水下机器人这一水下作业比较成熟的载体，构建了跨介质信息传输通道，同时构造的水下能量与网络连接器简单可靠，并且能够方便的适应大水深作业，为水下独立 PNT 节点的长期工作提供了一种可行、可靠且易于实现的方法，具有很强的实用性。

## 2 系统组成及硬件介绍

### 2.1 系统组成及工作流程

本系统主要实现北斗授时及其一个具体应用场景的模拟。主要分为三个部分：岸基 NTP 时钟源部分、水下智能连接器部分和水下节点部分（PC 机）。

(1) 岸基 NTP 时钟源主要完成 NTP 时钟的获取，通过北斗卫星校准时钟源，通过 NTP 技术为水下节点提供稳定可靠的时钟。这一部分主要由天线、北斗授时服务器构成，天线通过串口与时间服务器相连，为其提供稳定的卫星信号。

(2) 水下智能连接器部分是本系统中的核心部分，它分为发射端（以下称 A 端）端与接收端（以下称 B 端）。A 端与时间服务器相连，B 端与 PC 机相连。

(3) 水下节点部分在本系统设计中采用 PC 终端模拟，PC 代替的是节点内部的主机，因此 PC 上显示的时间即为节点内部的实际时间。

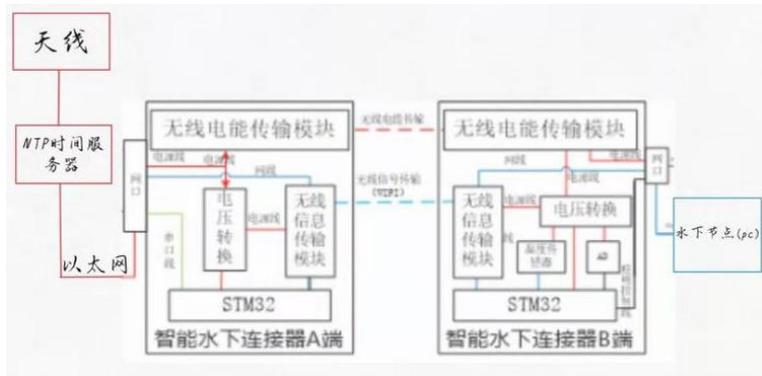


图 4 系统的整体组成图

水下连接器的 B 端通过线缆与模拟水下节点内部主机的 PC 端连接，此时 PC 端上显示的时间为节点长时间工作后有差错的时间；水下连接器的 A 端通过线缆与时间服务器相连，时间服务器通过天线接收到来自北斗卫星传来的时间序号，源源不断的通过以太网传送到连接器的 A 端；当连接器的 A 端与 B 端在水下实现对接后，A 端内的北斗时间序号会通过连接器内部的 AP 模块传输到 B 端，紧接着 B 端将接收的北斗时间信号通过以太网传送到节点部分的 PC 端，一分钟后，PC 上显示的错误时间会在接收到的北斗时间序号的作用下自动进行校准，显示出正确的时间，至此，整个北斗授时过程结束。

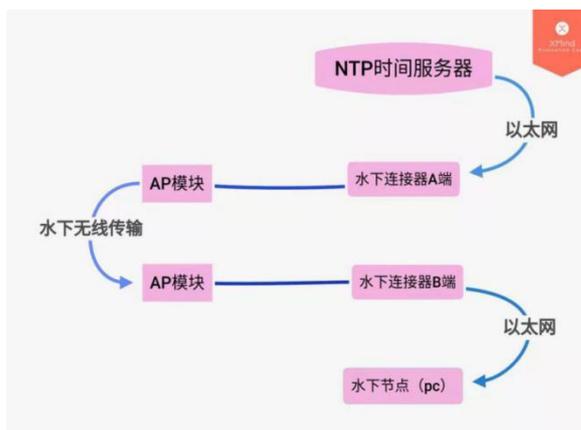


图 5 系统工作流程图

在这个授时过程中，用户可通过连接器内部的 AP 信息传输模块，实现与连接器的信息交互，又因为连接器 B 端与节点可进行稳定的信息传输，因此用户既可以看到节点内部的电压、时间等信息，又可以通过向连接器发送指令来控制节点内部的信息，充分的实现了信息的双向传递。不仅如此，本系统在连接器内部设置了无线充电模块，借助线圈、内部电源、变压板等装置，用户可以对节点进行时间校准的同时向其输送电能，为其充电。

这些就是本系统大体的组成板块和工作流程。

## 2.2 各硬件模块介绍

### 2.2.1 时间服务器模块

该 NTP 网络时间服务器可接收 GPS，北斗，GLONASS，GALILEO，QZSS 卫星定时信号来驯服内部的 OCXO（高稳恒温晶振），能提供基于 UTC 标准时间及自我完善性监控的、高稳定的一级时钟同步信号。采用了闭环控制守时技术，系统具有自我学习功能，获取高稳恒温晶振的老化漂移等特性，即便卫星信号中断或出现干扰故障后，仍能在一定时间内输出精确的时间同步信号，实现高精度的授时。



图 6 时间服务器实物图

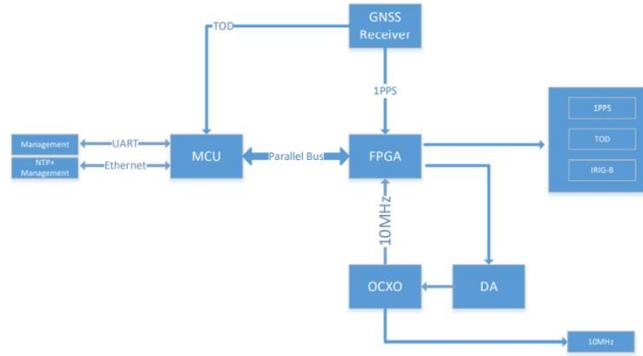


图 7 时间服务器工作原理图

### 2.2.2 水下连接器模块

如果说应用北斗授时是本系统的创意灵魂，那么水下连接器便是本系统的设计灵魂。

(1) 水下连接器由 A 端和 B 端组成，通俗地讲就是由一个插头和一个插座组成的。连接器两端由 STM32 芯片对 AP 模块进行控制，实现相关配置，保证高带宽信号在水中传播的稳定性和可靠性。同时对外提供百兆网络接口，并能进行灵活扩展。STM32 通过 SPI 接口外接 W5500 模块扩展网口，从而与信息传输模块进行互联。水下智能连接器 A、B 端及控制端构成局域网，A、B 端 IP 地址均由 STM32 芯片进行配置。A 端的作用是接收来自时间服务器的时间信息，解析后通过 STM32 芯片以及信息传输模块传送到 B 端进而通过网口到达节点内部，为时间信息从北斗卫星到水下节点提供了途径。

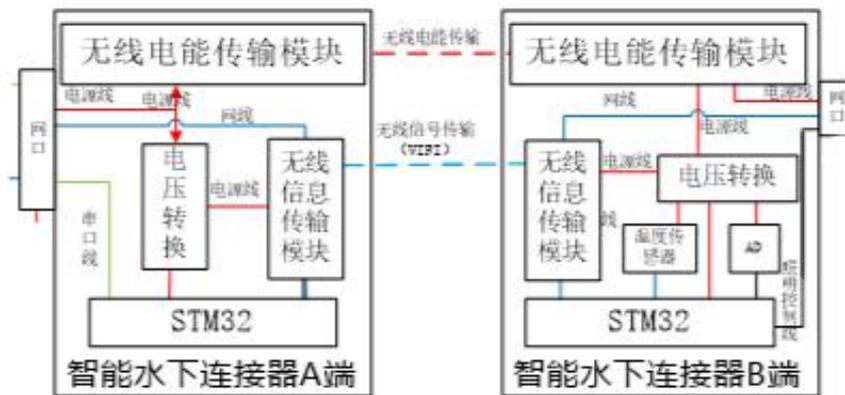


图 8 整体结构示意图

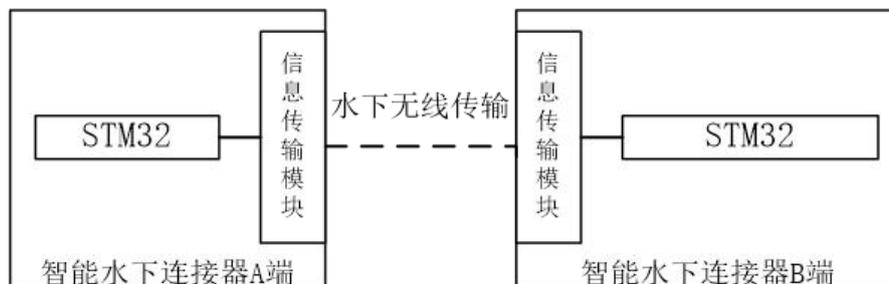


图 9 水下信息传输示意图

(2) 连接器的外形设计成圆柱形，主要避免水下插拔时需要精确对准问题，只需在轴线上大致对准，就可通过导轨实现两端互联，对连接器两端平面上的对准不作要求。这样极大地简化了水下湿插拔的操作难度。本设计连接器

两端用水密接插件对外提供接口，在实际应用中，可以直接将本连接器集成在设备内部。插头和插座对接后用利用磁力进行吸合固定，防止插头和插座脱开松动。将电能传输和信号传输对接平面错开，中间用隔磁板进行隔离，避免电能传输中的强磁场对信号传输造成影响。插头和插座都是单独的密封件，水不会进入插头和插座的内部，从而确保了可以在水下进行拆分和装配。

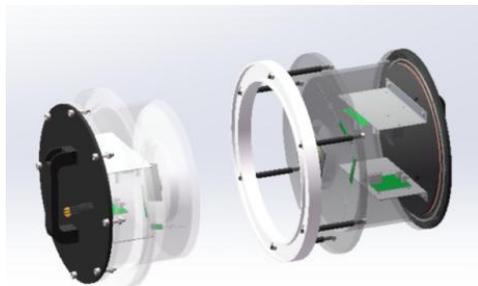


图 10 连接器 3D 示意图

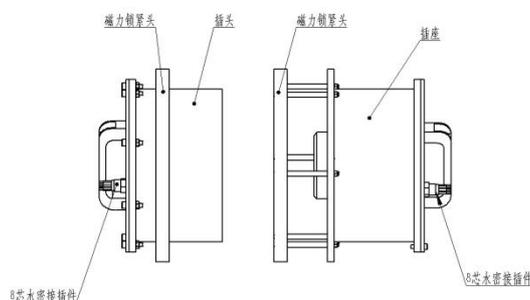


图 11 连接器整体介绍图

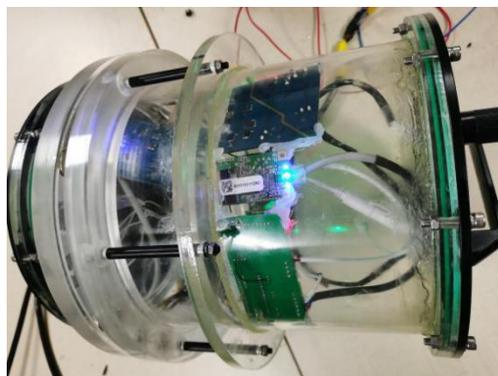


图 12 连接器实物图

(3) 本设计采用电磁耦合原理进行无线电能传输。该模块由发射模块和接收模块组成，包括逆变电路、初级线圈、次级线圈和相关的整流、滤波、补偿电路组成。电能传输时，接收线圈和发射线圈相对应，发射模块将 24V 直流输入逆变成高频电源，加载到发射线圈，使发射线圈在电源激励下产生高频磁场，接收线圈在此高频磁场作用下，耦合产生电流，再经过整流和激励，可为负载提供电源，实现电能的无线传输。

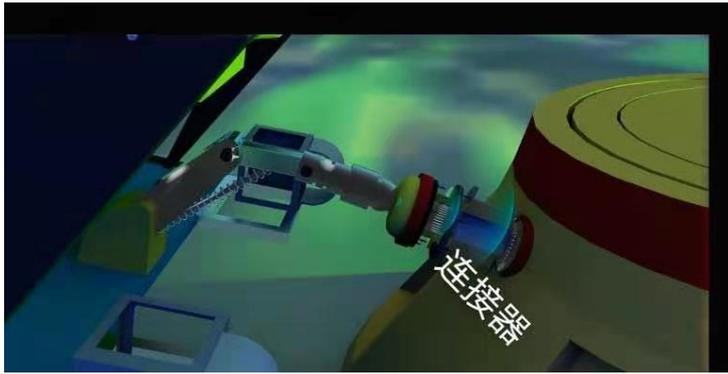


图 13 连接器为节点充电 3D 示意图

### 3 软件测试



图 14 对接前水下节点错误时间示意图

这是在连接器 AB 两端对接前水下节点的错误时间



图 15 对接后校准恢复时间示意图

这是连接器对接后，节点在北斗时间信息的校准下恢复的时间

## 4 调试过程

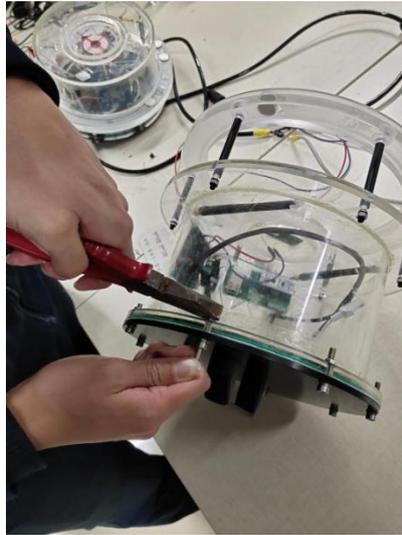


图 16 密封连接器

图 16 是在手工密封连接器，用螺栓、胶圈等工具对其进行密封，让连接器的水密性更强。



图 17 检验连接器

图 17 是在进行岸上的调试，检验连接器的对接情况

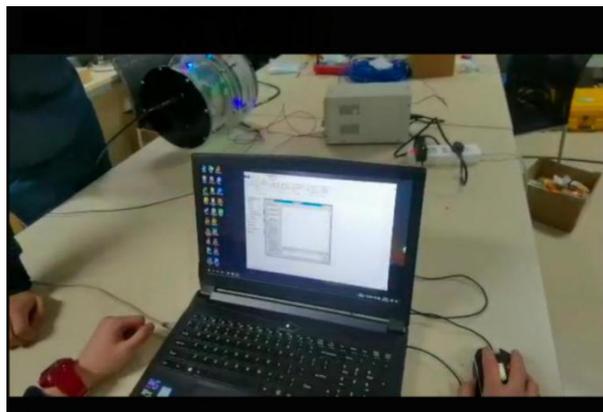


图 18 系统的连接图

图 18 是系统在岸上时的连接图。



图 19 连接器的对接

图 19 是人工进行连接器在水下时的对接。

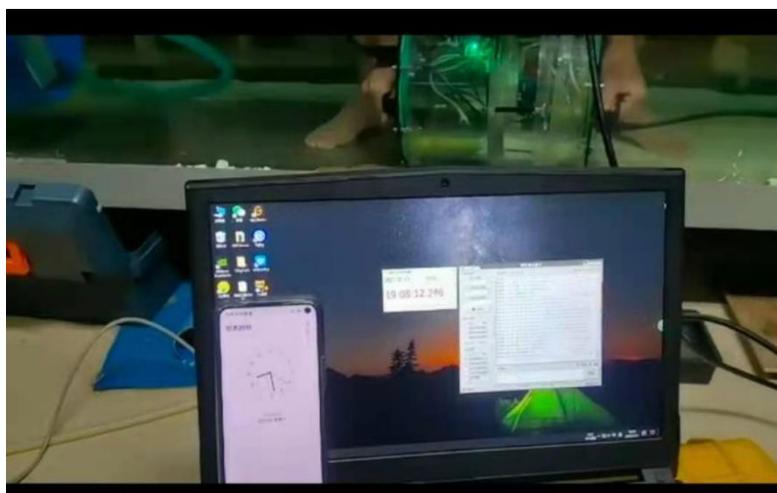


图 20 节点的自动校时过程

图 20 是连接器在水下对接完毕后，节点的自动校时过程。

本设计已全部完成。我们完成了整个作品的设计流程：搭建了自己设计的硬件平台并且基于该硬件平台设计了水下智能连接器。不仅如此，我们利用北斗授时功能结合自主设计的水下连接器创新性的提出水下节点似乎间校准系统这一理念，通过多次调试，模拟节点的 PC 终端能够稳定的在接收北斗信号一分钟后，自动将时间校准，达到了我们预期的设计目的。

## 5 心得体会

从本次参赛作品的选题，方案的确定，到最终设备的调试成功，每一个环节我们团队都遇到了或多或少的问题与意见分歧。在本次比赛的选题上，我们团队经过讨论最终决定依托北斗授时功能为水下节点进行时钟校对。相对于传统的水下时间校准系统来说，本系统具有便捷性、实用性和可交互性的特点。水下连接器是本系统的核心部分，通过内置的无线电能传输模块和无线通信技术实现连接器中电能和信息的传输，将 WiFi 模块应用到连接器中实现近距离的高带宽通信。系统设计的过程中我们遇到了很多的困难，比如说连接器内部信号传输有时会不稳定，导致 PC 端时间的自动校正无法进行或花费很长时间才能实现；变压板有时会在连接器移动后变得接触不良，AP 模块无法启动，

---

因此无法与 PC 端建立 IP 访问, 要把连接器拆开修理。无论遇到何种困难, 我们团队都没有放弃, 而是努力钻研去克服难题, 为我们以后的学习打下了基础。

### 参考文献

- [1] 许江宁. 浅析水下 PNT 体系及其关键技术[J]. 导航定位与授时, 2017, 4(01):1-6.
- [2] 黄才, 赵思浩. 国家定位导航授时基础设施现状及能力展望[J]. 导航定位与授时, 2017, 4(05):19-26.
- [3] 杨元喜. 综合 PNT 体系及其关键技术[J]. 测绘学报, 2016, 45(05):505-510.
- [4] 华宇, 郭伟, 燕保荣, 徐永亮. 我国授时服务体系发展现状分析[J]. 时间频率学报, 2016, 39(03):193-201.
- [5] 张鹏飞, 涂锐, 高玉平, 广伟, 蔡宏兵. 基于北斗的时间传递方法及其精度分析[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(11):2700-2706.
- [6] 张风国, 欧明, 刘钝, 甄卫民. 未来潜在 PNT 技术综述[J]. 全球定位系统, 2015, 40(06):27-34.
- [7] 叶杨高, 朱家远, 李锦华. 国外水下插拔光纤连接器的发展[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2008(02):1-4.
- [8] 徐鲁杰, 孙晓军, 汤振, 乔永红. 水下插拔电连接器技术[J]. 机电元件, 2011, 31(06):3-5.
- [9] 陈爱平, 周忠亚. O 形密封圈和密封圈槽的选配及应用[J]. 石油机械, 2000(05):49-51.
- [10] 姜玮. 一种用于水下授时导航的单工通信技术研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2015.
- [11] 刘旭. 高精度高稳定度水下守时模块设计与实现[J]. 声学与电子工程, 2017(02):36-40.
- [12] 杨博真. 水下传感器网络时间同步技术研究[D]. 中国海洋大学, 2014.

# 附录

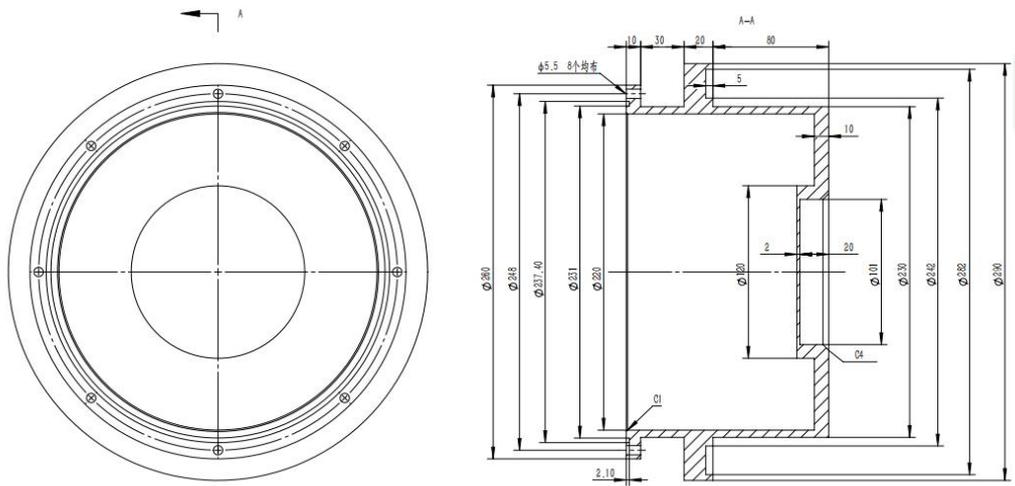


图 1 连接器结构图

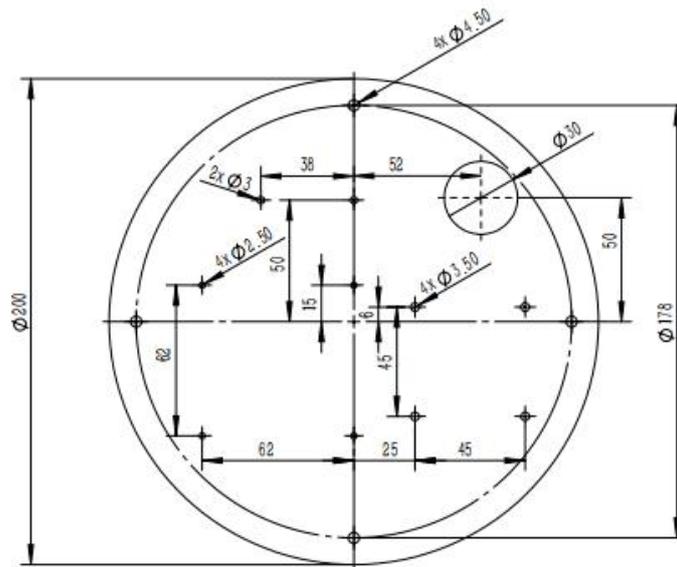


图 2 插座结构图

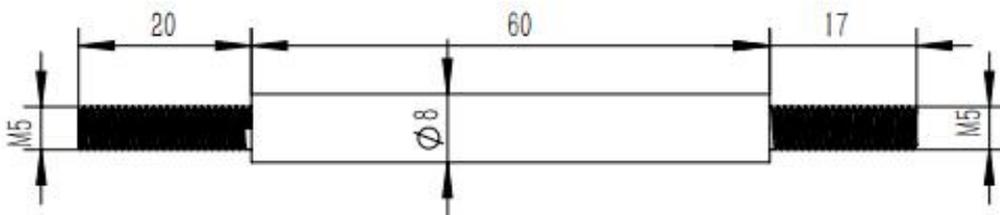


图 3 固定板结构图

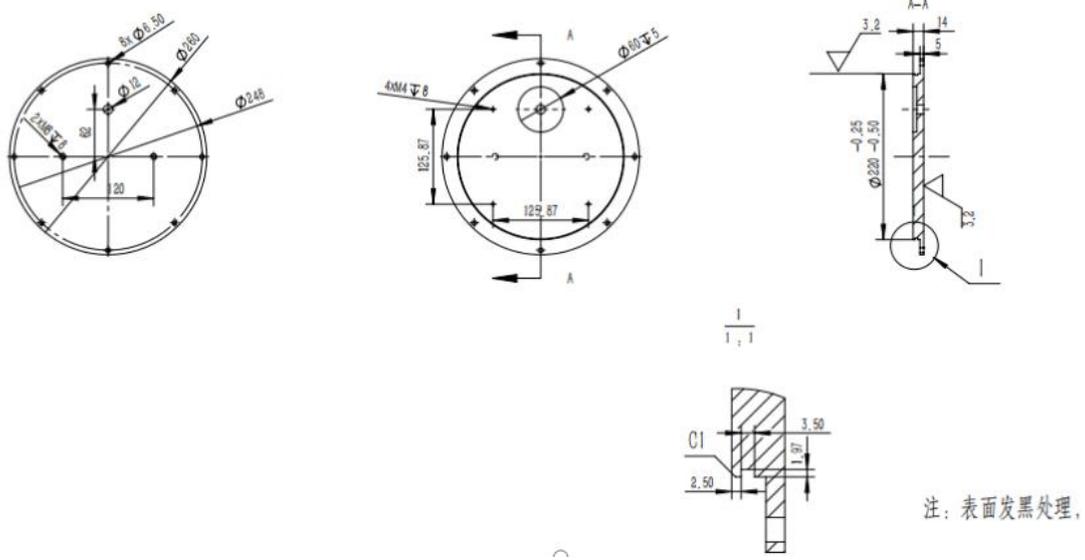


图 4 连接杆结构图

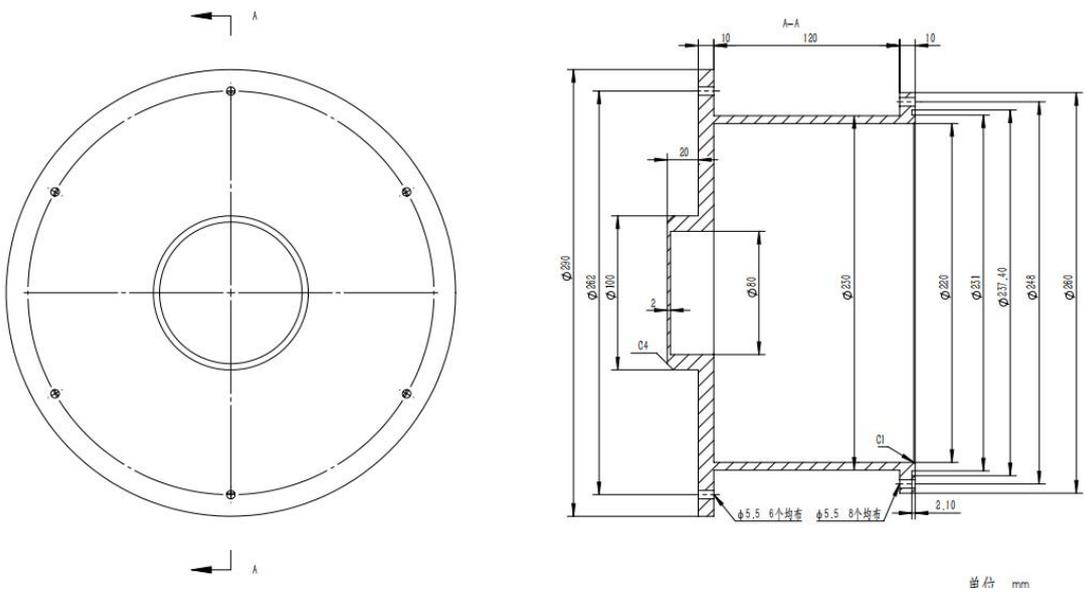


图 5 端盖结构图

---

# 基于深度学习与北斗定位导航的口罩识别与跟踪提醒巡逻机器人

作者：蒋平山、柯张镭、孙亚欣、柳鹏里  
指导教师：邓健、李兰晖  
学校：厦门理工学院

---

**【摘要】**：在密集场所内佩戴口罩是我国新冠疫情防控的关键措施之一，为提高密集场所内过往人员未佩戴口罩的管理效率，本文设计并实现一款集自主导航和口罩佩戴识别系统于一体的巡逻机器人。机器人嵌入高精度北斗定位模块，以实现实时地图构建和自主导航避障功能。同时，基于机器人搭载的高清摄像头实时采集影像数据，采用深度学习的YOLOv5算法对过往人员进行口罩佩戴识别。当识别出未佩戴口罩人员时，通过导航系统跟踪提醒目标人员佩戴口罩，同时将相关信息传输至后台管理系统。若出现特殊情况，由工作人员机动处理。

**【关键词】**：北斗，深度学习，实时建图，自主避障

**【Abstract】** Wearing masks in dense places is one of the key measures for the prevention and control of COVID-11 in China. In order to improve the management efficiency of people passing in dense places without wearing masks, this paper designed and implemented a patrolling robot that integrates autonomous navigation and mask wearing identification system. The robot is embedded with high-precision Beidou positioning module to realize real-time map construction and autonomous navigation and obstacle avoidance. At the same time, based on the high-definition camera mounted on the robot, the image data are collected in real time, and the deep learning YOLOV5 algorithm is used to identify the wearing of masks for passing personnel. When the person without mask is identified, the navigation system will track and remind the target person to wear the mask, and the relevant information will be transmitted to the background management system. If there are special circumstances, by the staff maneuver to deal with.

**【Key words】** BDS , Deep Learning , SLAM , Autonomous Obstacle Avoidance

---

## 1 项目研究背景及意义

新冠疫情肆虐，各国采取一系列防控措施以最大程度阻断病毒传播。如何在人口密集场所有效防控疫情成为全球备受关注的焦点。据悉，新冠病毒主要通过呼吸道飞沫和接触两个途径在人与人之间传播<sup>[1]</sup>。因此，疫情期间佩戴口罩是整套防控措施的重要组成部分，这既可用于保护健康者，也可进一步从源头控制疫情（感染者个人佩戴以防进一步传播）。

然而，随着疫情被进一步控制，人民群众佩戴口罩的意识逐渐淡薄。在候车室、候机厅、户外广场等人口密集场所，绝大多数情况仅在入口处提醒过往

人员佩戴口罩。但后续有一部分人员因呼吸不畅、喝水或进食等原因取下口罩后未再次佩戴，在人口密集场所出现这类情况对疫情防控是非常不利的。然而，逐一对大量过往人员进行提醒，显然难以做到时时监督和面面俱到，同样也增加了工作人员被病毒感染的风险。科学防控疫情传播，已然成为当前所面临的问题和挑战。在此背景下，相信该巡逻机器人能够作为尽忠职守的防疫战士，为全世界战胜新冠疫情贡献绵薄之力。

## 2 项目总体设计

本项目设计的巡逻机器人主要由北斗定位导航模块和口罩佩戴识别模块组成。在北斗定位导航模块中，基于北斗自主定位导航技术，采用 SLAM 实时建图和路径规划等算法，使其在特定区域内巡逻的同时，能够自主导航和避障；在口罩佩戴识别模块中，基于机器人搭载的高清摄像头实时采集影像数据，采用深度学习的 YOLOv5 算法对过往人员进行口罩佩戴识别。两个模块协同运作，实现对未佩戴口罩人员进行跟踪并语音提醒。此外，将将相关信息实时传输至后台管理系统，若出现特殊情况可由工作人员机动处理。该机器人可应用于动车站候车室、候机厅、户外广场等人口密集场所。

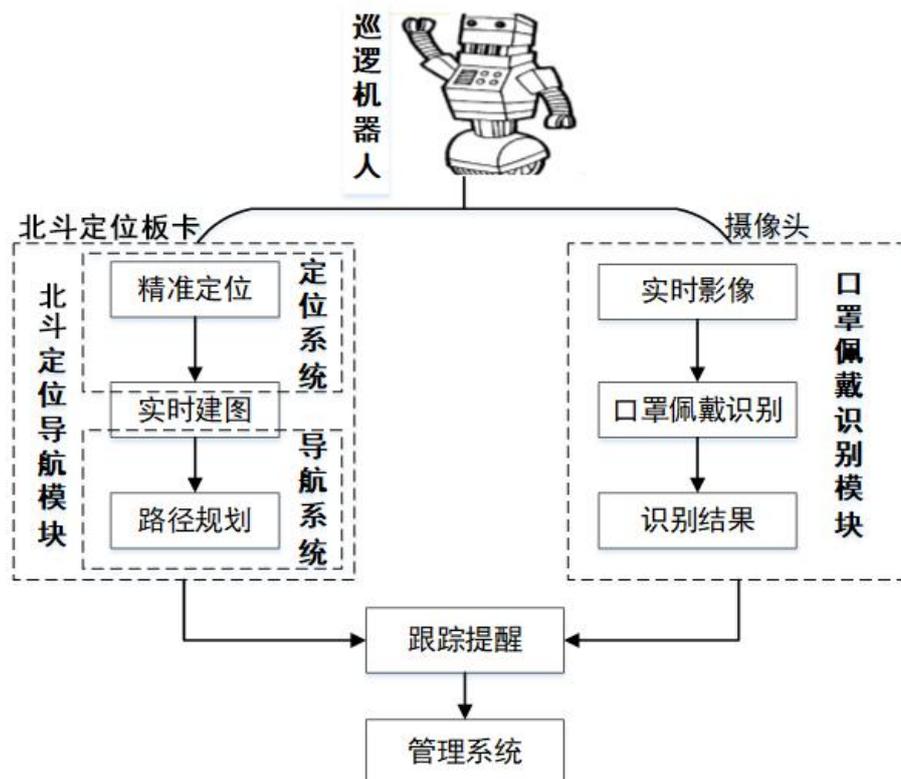


图 2-1 总体设计

具体功能如下：

### (1) 自主定位导航

该机器人载有北斗定位与自主导航模块，基于北斗精准定位技术可以实现较为精准的定位，能够基于 SLAM、A\*和 DWA 算法进行全局路径与局部路径规划自主导航和自主避障功能。

### (2) 口罩佩戴智能检测系统

本文的口罩佩戴检测采用基于 YOLOv5 的目标检测算法结合高精度北斗定位技术，其较高的检测速度以及达标的检测精度，可实现在一定视野范围内准确高效地判断出在该密集场所内的过往人员是否佩戴口罩。

### (3) 语音提醒—上报功能

机器人在区域内移动的过程中，检测到视线内未佩戴口罩人员后，机器人上前提醒该人员佩戴口罩并将影像信息上传管理系统。

### (4) 机器人管理系统

我们为使用方提供 PC 端和移动端管理系统，在系统上实时显示机器人的位置以及摄像头获取的影像信息。通过整合上述数据信息，管理人员能较为迅速、高效地获取某个区域内的人员口罩佩戴情况，以便处理各类异常事件。

## 3 机器人模块设计

### 3.1 北斗定位模块

为实现高精度定位和导航，该机器人选用上海司南的定位板卡。这是一款 ASIC 基带芯片（SNB1008）的 GNSS 多系统高精度定位板卡，该板卡拥有北斗三频超远距离超快速的动态解算能力，以及超大容量存储功能；自带 8GB 存储芯片，能够连续存储长时观测数据和定位结果；采用新升级 RTK 解算引擎，可实现更高性能、更远距离的可靠定位且结果稳定、无偏移、无跳变。



图 3-1 定位板卡

### 3.2 自主导航避障模块

在动车站候车室、候机厅、户外广场等客流量大且地形单一、空间固定的条件下，该机器人选用轮式底盘和万向轮使得转向更为便捷。北斗定位和自主导航避障功能模块能在规定区域内实现自主巡视。通过 A\* 算法得出路径的最优解，在此基础上加入 DWA 算法，实现自主避障，预防路径上不可测状况的干扰，能在人流复杂的场所按照规定路线完成巡视任务，同时不影响场所内人流移动。

在底板上有多种定位孔方便零部件的固定，采用串联电池的方式供电，不仅可以实现基本的规定路径巡视，也能通过加装影像采集模块和传感器。搭载 C51 式单片机开发板，运用北斗定位系统，通过程序能按既定要求完成巡视任务，精准地完成定位导航及自主避障。



图 3-2 移动模块零件

### 3.3 影像采集模块

采用高清广角摄像头，当机器人按规定路线巡视时，能在视线范围内采集更多的人体面部信息。摄像头支持 120FPS 帧率，120°广角，拥有 2MP 像素，成像画面清晰，在 AI 视觉识别时具有优势。通过采集人像信息，运用设定好的口罩佩戴识别算法判断过往人员的口罩佩戴情况。



图 3-3 USB 免驱摄像头

### 3.4 语音提醒模块

在实时影像检测过程中，若发现未佩戴口罩人员，则将影像信息上传管理系统，启动语音提醒模块。其内部是通过 5V 有源蜂鸣器实现语音提醒功能。



图 3-4 有源蜂鸣器

## 4 口罩识别功能实现

### 4.1 口罩识别算法

鉴于本文口罩识别需要实时性以及较高的灵活性，故基于改进的 YOLOv5<sup>[2]</sup>检测算法，对是否佩戴口罩进行检测识别。YOLO<sup>[3]</sup>全称 You Only Look Once，是一种基于回归分析位置与类别的端到端（End to End）检测算法。该算法基于全局图片，直接舍弃了候选框，模糊了定位与分类两大步骤<sup>[4]</sup>，相比于 R-CNN<sup>[5]</sup>等算法能以较快的速度完成检测任务。图 4-1 为 YOLO 算法的基本检验步骤。

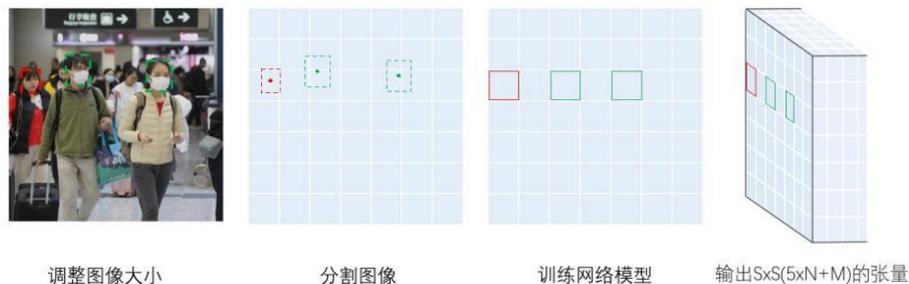


图 4-1 YOLO 算法基本步骤

在改进的 YOLOv5 算法中，为了追求更高的精度与速度，我们选用 CIOU\_Loss 作为损失函数<sup>[6]</sup>，其主要的公式如下：

$$GIOU_{Loss} = 1 - GIOU = 1 - \left( IOU - \frac{C - B}{C} \right) \#(1)$$

$$CIOU_{Loss} = 1 - CIOU = 1 - \left( IOU - \frac{Distance_2^2}{Diatance_C^2} - \frac{v^2}{(1 - IOU) + v} \right) \#(2)$$

$$v = \frac{4}{\pi^2} \left( \arctan \frac{w^{gt}}{h^{gt}} - \arctan \frac{w^p}{h^p} \right)^2 \#(3)$$

式中的 gt 全称 Ground truth box，即真实的检测框，而 p 代表 Prediction box（即先验框），B 表示两框之间的并集，C 表示其最小外接矩形。Distance\_2 代表两框中心点的欧氏距离，Distance\_C 表示最小外接矩形 C 对角线的距离。式（3）中的 v 是衡量长宽比的系数，w、h 分别为框的宽与高。

此外，考虑到训练模型中的 Anchor 框大小在 v5 中是针对 COCO 数据集推测出来的，对于本文口罩识别可能不具有普遍性，故重新采用 k-means 聚类算法对 Anchor 数值进行更新，以求达到更高的检测精度。

## 4.2 模型训练

### （1）基本配置

本实验选用的操作系统为 Windows10，python 版本为 anaconda Python3.7，pytorch 版本为 torch 1.7.1，cuda 版本为 11.0，Intel(R)Core(TM)i7-9800X CPU,GPU 为 GTX2080Ti。Python 中还需安装 numpy、pandas、opencv-python、pillow 等第三方库。

### （2）数据采集

本次实验通过 Python 网络爬虫以及实景高清 USB 免驱摄像头采集影像信息，提取视频帧后得到训练所需数据集，

通过标注工具 labelImg 标注出图像中的每个目标对象（即佩戴口罩或未佩戴口罩的人脸）位置，每张图片都对应一个 XML 文件，然后通过 Python 脚本文件批量生成对应的 TXT 文件。如图 4-2 为相对应的标签文件。其中第一列代表标签类别，佩戴口罩为 1，反之为 0。之后各列分别对应目标的 XY 坐标与 WH 宽高。



图 4-2 使用 LabelImg 进行图片标注

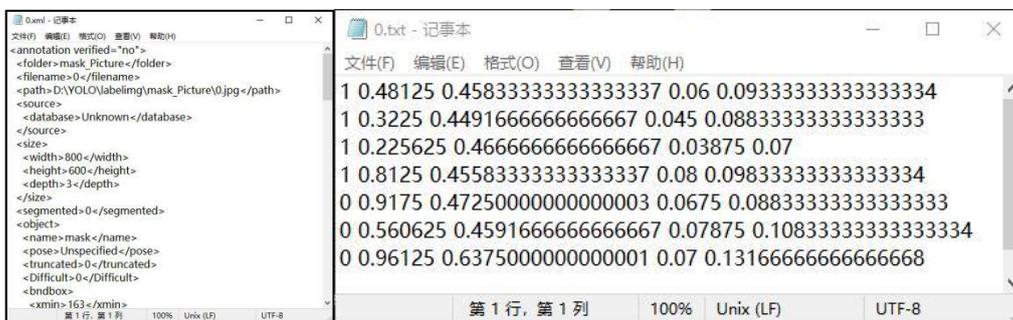


图 4-3 图片对应的 XML 文件与 TXT 文件

### (3) 训练方案与测试

训练方案：本次样本数据集共包含 3000 张图像，按 8:1:1 的比例对图像进行随机分类。选取其中 2400 张图像作为训练数据集（train）、300 张图像作为训练过程中的测试集（val）、300 张图像作为评估结果的测试集（test），确保不同分辨率与大小的图像都能得到充分的训练。

模型性能分析：检测算法模型的性能主要有以下几个指标：检测速度 FPS、召回率 Recall（即检测出的目标数与实际目标数之间的比值）、精确度 Precision（即正确识别的目标数与实际目标数之间的比值）、平均精度均值 mAP<sup>[7]</sup>。AP 是由 P-R 曲线（Precision-Recall 曲线）与坐标所围起的面积组成，而 mAP 是 AP 的均值。在实际应用中，一般采用 mAP 与 FPS 对该模型性能进行评估。从图 4-3 可以看出该模型训练至 250 代左右即可达到 0.8 的 mAP、0.9 的 Precision 以及 0.8 的 Recall。由图 4-4 可以看出训练中的模型在 50 代左右即可快速收敛。由图 4-5 可见测试过程中的模型在 100 代左右即可快速收敛，模型得到了较好的训练效果。

## Metrics

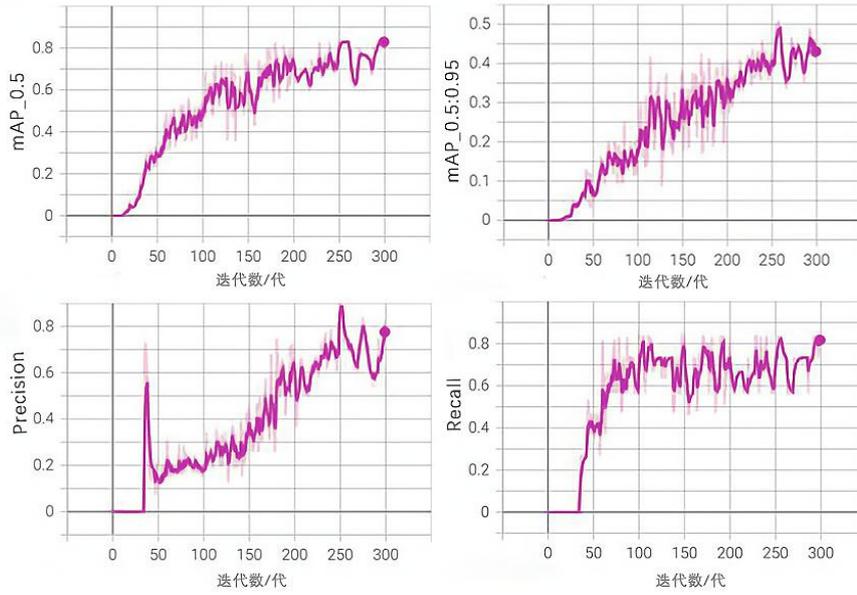


图 4-4 Metrics 衡量指标

## Train

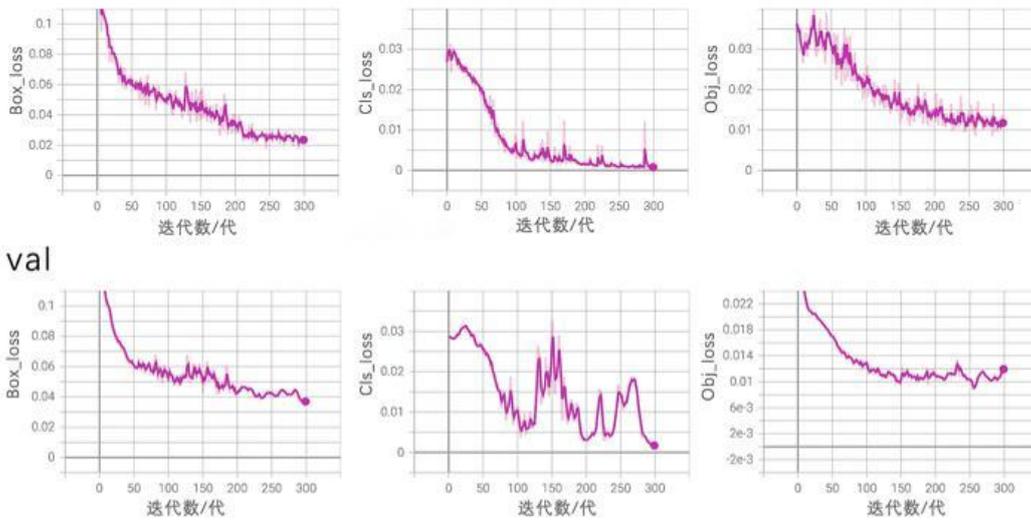


图 4-5 训练与测试中的各 loss 值

**测试效果：**如图 4-6 为最终测试图样，可以看出该模型对于是否佩戴口罩的识别效果总体不错，对于一些小物体与模糊物体也能好地识别出来，完全能够满足在复杂环境下对流动人群是否佩戴口罩的实时检测的需求。



图 4-6 测试图

## 5 基于北斗的自主定位功能

基于北斗的自主定位技术，增设北斗信标装置，统一室内外获取位置的方法，通过坐标转换准确获取机器人本体及目标体的位置信息，实现高精度定位。

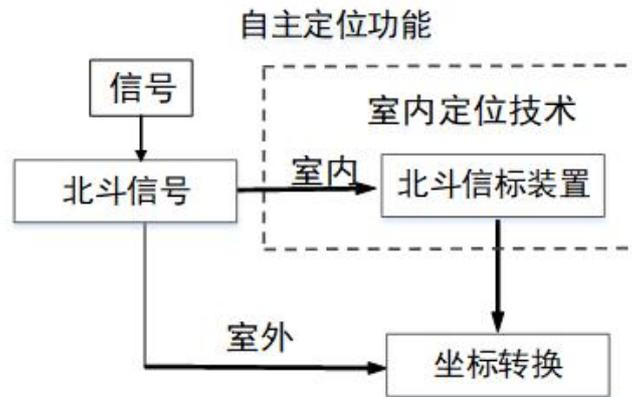


图 5-1 自主定位功能

### 5.1 基于北斗的精准室外定位技术

目前，我国在北斗方面取得的成就颇丰，在室外能够实现的定位精度也越来越高，已基本满足各种定位需求，并成为各个行业得以迅速发展的技术基础。本文中机器人的定位系统将由北斗定位系统和激光雷达共同组成。定位模块选用上海司南的定位板卡，并将其接入单片机系统中，实现较高精度的定位服务[8]。

本实验在北斗模块的启动方面选用热启动的方式<sup>[9]</sup>。芯片可在短时间内保存星历，在 2 小时内重新开机可直接使用，而不必反复下载。



图 5-2 基于北斗的室外定位

## 5.2 增设北斗信标的室内精准定位技术

我国的北斗技术虽然已较为成熟，但在室内精准定位方面仍存在一定欠缺。如何在室内实现高精度定位，也是后续机器人进行自主导航避障亟待解决的问题。本实验拟在室内应用场所增设北斗信标定位装置，这样不仅可以解决室内定位精度不高的问题，还能达到室内外定位方法统一的效果。

### (1) 北斗信标

本次实验拟选用的北斗信标设备是一种信号强度测距定位的简易卫星信号发生装置，该设备体积小，安装便捷灵活，尺寸与手机大小相当。该装置的作用是发射与北斗信号一致的包含信标所处位置的经纬度、高度、建筑物（楼层、楼栋号）等信息的信号，天线在接收到卫星信标的信号后，通过信标设备将其解析成电压<sup>[10]</sup>（电压越强的方向，信号越强）。



图 5-3 北斗信标设备

### (2) 定位流程

在安装好信标后，机器人后期将搭载北斗卫星信标接收机，同时升级现有的接收机应用软件。首先，在信标覆盖范围内接收信标发射的信号，获取该设备所处位置的数据信息。其次，基于 RSSI 测距算法进行定位坐标的计算，同时采用射线跟踪法，对各类不同环境下的信号衰减进行修正，依据动态滤波减轻对定位造成的影响，并对此进行最优搜索。最终在实验区域内实现精准定位。

## 6 自主导航避障功能

本项目的巡逻机器人在获取北斗定位系统提供的定位坐标后，通过 SLAM 算法实时建图，再融合全局和局部路径规划算法使机器人完成自主导航，实现巡逻和自主避障功能。

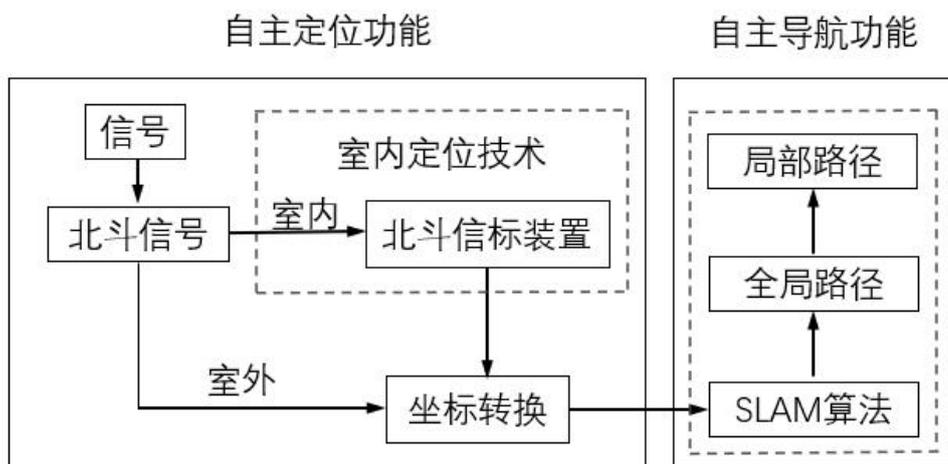


图 6-1 自主定位功能模块与导航功能交互

## 6.1 融合北斗的实时建图功能

### (1) 激光雷达

激光雷达作为机器人的“眼睛”，是后续精准感知周围环境的基础。本文拟选用思岚科技的 RPLIDAR-S1 TOF 激光雷达，其测量半径为黑色物体 10m，白色物体 40m，采样速度可达 9200 次/秒，测量分辨率可至 3cm。激光雷达的扫描开口角度在 270°以上、水平角度在 2°之内，安装位置靠近机器人底盘结构中心并且机器人正前方和正后方均有开口，能最大程度减少机器人激光雷达感知的盲区。



图 6-2 本项目拟选用的激光雷达

### (2) 融合北斗定位的建图实现

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)，即同时定位与地图构建。将机器人放入未知环境的未知起点时，它可以使机器人描绘出环境完全地图的同时决定机器人前进的方向。

在本实验基于 SLAM 算法制成的地图中，巡逻机器人坐标根据实际环境的长度和宽度按比例进行表示，在上述北斗定位功能中已获取以机器人为原点的直角坐标系下的坐标信息即  $(0,0)$ 。目标点（即检测到的未佩戴口罩人员）即  $(B, L)$ ，根据坐标转化公式得到  $(x, y)$  [1]。继而，通过坐标转化将北斗采集的经纬度坐标转化为地图直角坐标系的坐标，并将其与地图进行关联。依据起始点和目标所在位置的拓扑关系，采用系统设置的算法，指导移动机器人行驶。

## 6.2 全局路径规划——自主导航功能

全局路径是指机器人需要自主计算并判断起始点和目标点之间的最优路径。本项目中采用基于 Dijkstra 优化的 A\* 算法实现更加准确的路径规划。

(1) 本项目采用概率栅格表示法构建问题模型。利用二维栅格地图表示法，将机器人所处的实验空间划分成一个个的网格单元，本项目采用的栅格地图模型将小方格的边长设置为 5cm。用概率表示每个格子的占据情况。将大于实验中所设置阈值的栅格表示为占有状态，将小于该阈值的栅格表示为空闲状态，剩下的栅格表示为未知状态，即采用占有、空闲和未知三种状态就可以完备地表示地图每个位置的状况。

(2) 本项目所采用的 A\*算法运用了一个十分重要的评估函数，使得该算法得以在利用这个评估函数计算路径节点价值的同时也对当前节点价值和代价加以考虑，进而**选出最优路径**。该评估函数如下式所示：

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

其中  $g(n)$  称为耗散函数，表示从起始节点  $n_{start}$  到目标节点的实际代价； $h(n)$  称为启发函数，表示起始节点到目标节点  $n_{goal}$  的估计代价； $f(n)$  表示从起始节点经由节点到目标节点的估计代价。

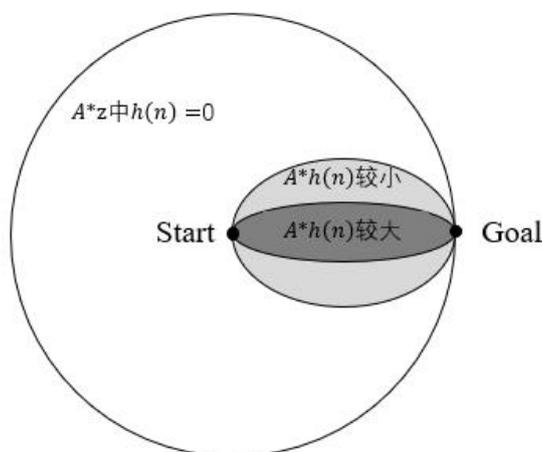


图 6-3 A\*算法简图

(3) A\*算法核心代码见附录 1

### 6.3 局部路径规划——避障功能

考虑到监测目标可能不断移动，该机器人系统对于定位技术和位置数据实时更新的要求相对较高。在前人研究中，大多数机器人的避障功能设计都是以躲避静态事物为主，少有提到躲避动态障碍物（过往人员）的能力。然而，本装置嵌入高精度的北斗定位模块，使之可以精准地躲避动态障碍物，防止与行人冲撞。

本文基于动态窗口法（Dynamic Window Approach, DWA）实现局部路径规划。在约束的速度矢量空间内，规定将线速度与角速度作为评价点，计算未评价的移动轨迹，并对其进行评分，从中选取最优路径，使机器人运动速度的命令有一定可行性，并且在此过程中有效避开障碍物。

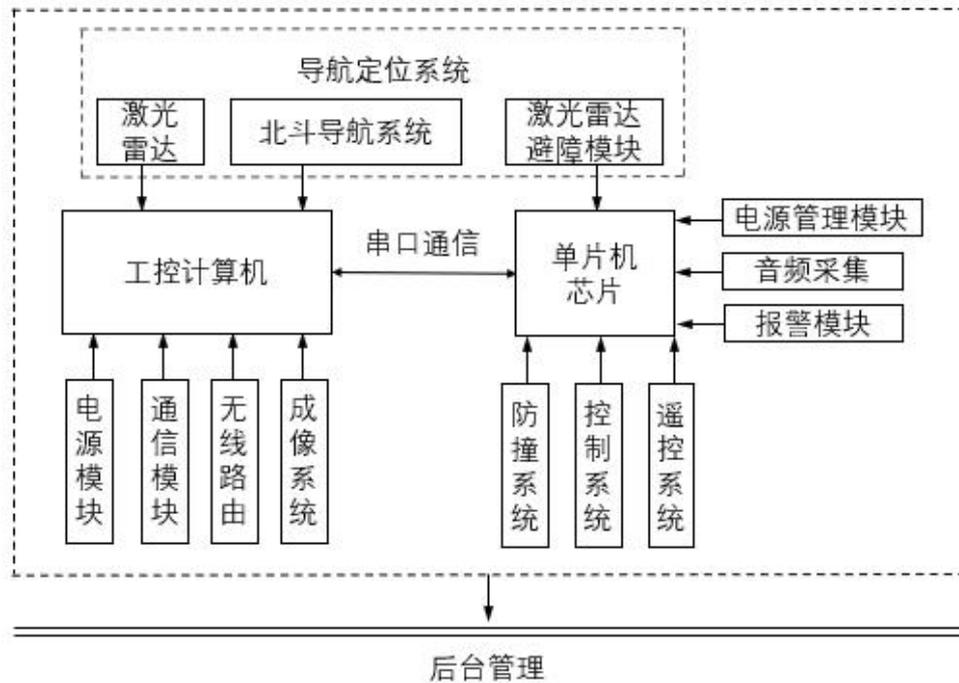


图 6-4 机器人系统设计图

(1) 巡逻机器人避障功能测试流程

①本实验中根据机器人的结构属性，设置了机器人的最大线速度、角速度、线加速度和角加速度等，构建出速度空间<sup>[12]</sup>。

$$v_m = \{v \in [v_{min}, v_{max}], w \in [w_{min}, w_{max}]\} \#(2)$$

其中  $v_{min}$ 、 $v_{max}$  为该机器人在实验过程中移动的最小线速度、最大线速度； $w_{min}$ 、 $w_{max}$  表示的为该机器人移动时的最小角速度、最大角速度。

②在上一步构建的速度空间基础上，依照设计的线速度个数和角速度个数，读取当前机器人的速度信息，利用测试中采集的速度，生成一定时间内的轨迹。

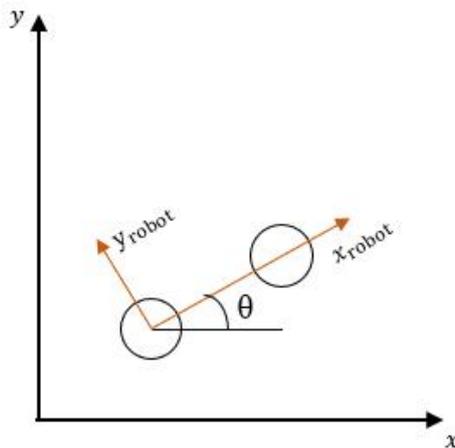


图 6-5 运动模型函数

③使用安装在机器人上的激光雷达构建二维栅格地图，在上述全局路径规划的基础上，将全局路径中在局部地图部分的路径映射到地图栅格中，标记为该范围内的小目标点（全局路径在局部栅格地图部分的终点），其所在栅格代价的值为零，且将路径点所在栅格也标记为零。其余栅格利用传播算法进行标记，得到一张栅格地图。

④利用上一步构建的地图计算轨迹分数并进行对比，选出得分最低的轨迹模型。该轨迹既可以接近上一步标记的小目标、又最接近全局路径，同时还是躲避障碍物条件的最优轨迹。

⑤将计算出的最优路径发给机器人底盘。

(2) 核心代码见附录 2

## 7 管理系统

在系统上实时显示机器人的位置以及传送的影像信息。通过整合各类数据信息，使管理人员能更为快速、高效地获取某一区域内过往人员的口罩佩戴情况，并机动处理各种异常事件。

考虑到 Qt 良好的跨平台特性、亲民的图形界面以及较高的开发效率，故此管理系统将基于 Qt5.9.7+ OpenCV3.4.0 进行开发。如图 7-1 为基于北斗的巡逻机器人管理系统登录界面与用户注册界面。



图 7-1 系统登录界面与用户注册界面

主界面主要由六部分功能组成，分别为“个人中心”、“机器人连接”、“机器人信息”、“机器人当前方位”、“数据统计”和“摄像头视角”。

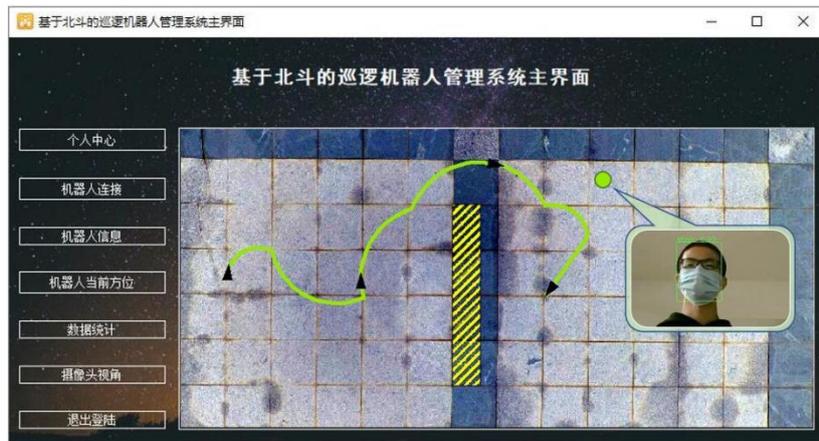


图 7-2 某次实验路径图（PC 端管理系统）

PC 端的防疫机器人管理系统经过了不断地迭代与升级，目前的功能已趋于完善，且已在不同的平台与操作系统进行测试，都展现出良好的交互性能以及舒适的操作体验。但是考虑到目前移动端的市场占比在不断地扩大，也考虑

到管理者需实时对事件发生点进行精准定位感知，因此移动端的开发同样具有一定的必要性。本管理系统主要分为首页、机器人界面和个人中心界面三大模块，如图 22 为移动端管理系统主界面。移动端与 PC 端进行同步连接，支持多设备同账号在线，便于管理者在 PC 端与移动端之间无缝衔接，处理事务更加高效快速。



图 7-3 移动端管理系统 UI 界面

## 8 机器人模型测试

在设备和条件均有限的情况下，我们团队完成了对机器人雏形的组装，预计实现巡逻机器人的核心功能——定位导航。



图 8-1 机器人雏形

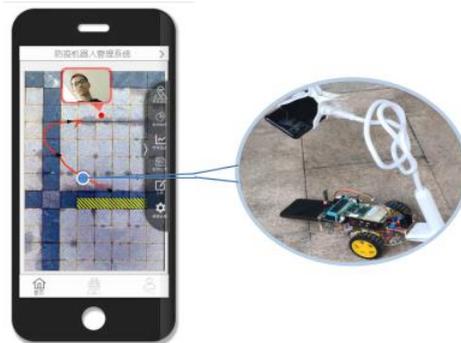


图 8-2 巡逻机器人的运行轨迹

## 9 创新点与应用前景

(1) 在新冠疫情肆虐背景下，本项目设计的巡逻机器人能够在人员密集场所对过往人员进行口罩佩戴实时自动识别。当识别出未佩戴口罩人员时，通过导航系统跟踪提醒目标人员佩戴口罩，同时将相关信息传输至后台管理系统。若出现特殊情况，由工作人员机动处理。该机器人能够避免人员交叉感染，更为有效地对过往人员口罩佩戴进行监督提醒，节省人力资源，减轻工作人员压力。

(2) 在实现自主定位导航技术中，采用基于 Dijkstra 优化的 A\* 算法，提高了最优路线规划设计的准确性；同时，嵌入高精度北斗定位模块，并结合室内北斗信标信号源，保障室内外定位精度，实现机器人自主定位导航及动态避障功能。

---

(3) 在目标检测中, 本项目基于 YOLOv5 算法模型, 采用时效性较好的损失函数 CIOU\_Loss, 提升了目标检测的精度。此外, 采用 k-means 算法对特定的口罩数据集进行 Anchor 框的更新, 提高了口罩识别在实际应用中的适应性。

## 10 结语

总而言之, 为解决密集场所内过往人员未佩戴口罩问题, 本项目设计了一款集自主导航和口罩佩戴识别功能于一体的巡逻机器人。该机器人嵌入高精度北斗定位模块, 以实现实时地图构建和自主导航避障功能。同时, 基于机器人搭载的高清摄像头实时采集影像数据, 采用深度学习的 YOLOv5 算法对过往人员进行口罩佩戴识别。该机器人可应用于动车站候车室、候机厅、户外广场等人口密集场所。通过设计实践, 该机器人已实现了主要的功能, 后续将不断完善改进。

该机器人能够避免人员交叉感染, 更为有效地对过往人员口罩佩戴进行监督提醒, 节省人力资源, 减轻工作人员压力, 具有较好的应用前景。

### 参考文献

- [1] 杨冰冰, 蒋邦平, 纪仕辰, 等. 口罩遏制新冠疫情传播的数理分析[J]. 百科知识, 2020(24):25-40.
- [2] Yifan L, BingHang L, Jingyu P, et al. Research on the Use of YOLOv5 Object Detection Algorithm in Mask Wearing Recognition[J]. World Scientific Research Journal, 2020,6(11).
- [3] Joseph Redmon S D R G. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection[J]. Computer Vision&Pattern Recognition, 2016.
- [4] 庞智恒, 袁德明, 王宇宁. 基于 YOLO 算法的车辆实时检测[J]. 武汉理工大学学报, 2016.
- [5] Girshick R, Donahue J, Darrell T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation[J]. 2013.
- [6] Rezatofighi H, Tsoi N, Gwak J, et al. Generalized Intersection over Union: A Metric and A Loss for Bounding Box Regression[J]. 2019.
- [7] 李凡, 许德刚, 王露. 深度学习的典型目标检测算法研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2021.
- [8] 于燕, 李宁. 基于北斗和激光雷达的机器人导航控制方法研究[J]. 中国农机化学报, 2019,40(08):165-170.
- [9] 黄宏越, 姚文树, 赖家民, 等. 基于北斗自主巡航多功能机器人设计[J]. 电子世界, 2017(17):121-123.
- [10] 刘天朗, 陈炜. 通过北斗信标实现室内定位的方案设计[J]. 数字通信世界, 2017(2):7-11.
- [11] 陈炜峰, 薛冬, 周旺平. 北斗导航辅助移动机器人同时定位和地图构建研究[J]. 科学技术与工程, 2014,14(19):91-94, 111.
- [12] 唐宝芳. 室内地面移动机器人自主导航系统关键算法及实现[D]. 华南理工大学, 2020.

---

## 第十二届“北斗杯”全国青少年科技创新大赛

### 大学组三等奖优秀作品



---

# 基于北斗系统的四旋翼无人机飞行姿态与航行路径的研究

作者：李少林、张一弛、李浩嘉、信思雅

指导教师：齐雁楠、柳立春

学校：中国民航大学

---

**【摘要】**：近些年来四旋翼无人机的普及给人们的生活带来极大的便利，例如运用四旋翼无人机航拍、边境巡逻等；但是在带来便利的同时，也出现了一些问题，比如四旋翼无人机的能源消耗问题、四旋翼无人机在执行特定任务时受外界环境影响导致的航迹偏移问题以及无人机的飞行安全问题等。针对于上述问题，考虑从以下三个方面进行问题的解决：一、运用改进蚁群算法得出四旋翼无人机从起点到目的地点的最优航行路径；二、四旋翼无人机搭载北斗定位模块以及风速传感器模块实现对四旋翼无人机的定位以及对外界环境的感知，并且实现飞行中无人机能够主动地调整姿态来抵抗风对其自身的影响，以减少四旋翼无人机的偏航进而减少不安全事故的发生，三、寻找在载重相同、能耗最小的情况下无人机对应的电调、电机、螺旋桨的最优搭配。通过进行以上研究，无人机能够在执行某项任务时，减少不必要的能源消耗，提高其安全性和可靠性。最后以“饿了么”平台无人机外卖为例，将本研究应用于实际生活之中，增强其现实影响。

**【关键词】**：北斗定位，飞行姿态，蚁群算法，飞行仿真，电路优化

**【Abstract】** In recent years the popularity of four rotor unmanned aerial vehicle (UAV) bring great convenience to people's life, such as the use of the four rotor aerial drones, border patrol, etc. However, while bringing convenience, there are also some problems, such as the energy consumption of the four-rotor UAV, the flight path deviation caused by the influence of the external environment when the four-rotor UAV is performing a specific task, and the flight safety of the UAV. In view of the above problems, the following three aspects are considered to solve the problem: First, the improved ant colony algorithm is used to obtain the optimal sailing path of the quadrotor UAV from the starting point to the destination place; Two, four rotor uavs beidou positioning module and wind speed sensor module implements the positioning of four rotor unmanned aerial vehicle and perception of the environment, and realize unmanned aerial vehicle flight can actively adjust the attitude to resist the wind effects on its own, in order to reduce the yaw four rotor UAV, in turn, reduce the unsafe accident, three, looking for the same load, the minimum energy consumption under the condition of UAV corresponding electric motor, the optimal collocation of propeller. Through the above research, UAVs can reduce unnecessary energy consumption and improve their safety and reliability when performing a certain task. Finally, this study is applied in real life to enhance its realistic impact by taking UAV takeout on the "ELEME Takeout" platform as an example.

**【Key words】** Beidou Positioning, Flight Attitude, Ant Colony Algorithm, Flight Simulation, Circuit Optimization

---

# 1 研究背景及意义

四旋翼无人机具有重量轻、速度快、机动灵活、可靠性高等优点。近年来，四旋翼无人机发展迅速，在农业生产、精细化巡检、国防和社会安全等方面均得到广泛使用并发挥了重要的作用。但是四旋翼无人机的飞行动力及能源问题、执行飞行任务时受外界干扰而导致的航迹偏移问题、飞行过程中可能产生安全隐患等都成为了限制无人机进一步发展的障碍，因此寻求有效的方案解决上述问题势在必行。本文以运用北斗系统实现四旋翼无人机飞行姿态变换及航行路径优化为目的，针对四旋翼无人机执行飞行任务的全过程中遇到的上述三大问题提出合理可行的解决方案。基于蚁群算法的航迹规划，具有较强的鲁棒性和搜索性能，能够实现在复杂环境中迅速找出一条安全可飞的路径；搭载北斗模块及风速传感器的四旋翼无人机，在受到外界环境（风）的干扰情况下，飞行姿态主动转变以减少实际航迹与预定航迹偏移量，减少事故的发生；寻求最优的设备搭配有助于四旋翼无人机能源消耗降低，提高续航能力。目前四旋翼无人机航迹规划和飞行姿态研究还处于发展探索阶段，但四旋翼无人机的应用发展极为迅速，相关专业领域对四旋翼无人机的要求也越来越高，因此本研究具有重要的实际意义。

## 2 研究方案

### 2.1 无环境因素影响的情况

#### 2.1.1 最优航迹

要寻求从 S 点到 E 点的最优路径即最短路径，首先要考虑 S 和 E 两点之间的障碍物，既要保证无人机不能与障碍物相撞，又要保证航迹最优。本节主要研究二维环境下的航迹最优。

##### 2.1.1.1 二维城市环境模型的建立

本文采用栅格法构建四旋翼无人机二维飞行环境模型，将整个飞行区域的二维平面分为  $20\text{km} \times 20\text{km}$  规格的城市空间，每格的长与宽均为 1 千米。如下图所示，其中黑色网格代表所选区域内的建筑物，白色网格代表四旋翼无人机可飞行的区域。为了完成指定任务，四旋翼无人机需要从起点 S 飞往目的地 E，且必须无碰撞的绕过所有障碍物。

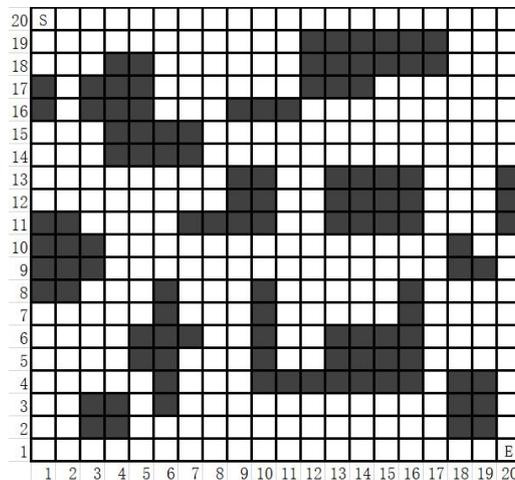


图 1 二维城市环境模型图

四旋翼无人机飞行航程较短但具有机动灵活、飞行稳定、能够精准悬停、可靠性高等

优点，适合在障碍物较多，起点与目的地点相距不远的区域执行飞行任务。下图为四旋翼无人机的二维平面运动栅格模型，在不考虑其他限制的情况下将无人机自身视为质点，可由自身出发向 8 个方向进行运动。<sup>[1]</sup>

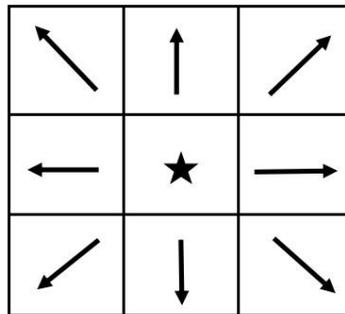


图 2 四旋翼无人机二维运动栅格模型

#### 2.1.1.2 蚁群算法

蚁群算法是一种来源于对蚂蚁搜索研究的新型智能优化算法。生物学研究表明总能在蚂蚁觅食过程中走过的路径上发现一种名为“信息素”的分泌物，且这种信息素能过为了使其一定范围内的其他蚂蚁察觉到它的存在而保留一段时间。蚂蚁爬行路径中的信息素含量越高，其他蚂蚁选择该条路径的可能性越大。由于蚁群觅食的正反馈机制，越来越多的蚂蚁选择距离较短的路径，路径上的信息素更新加快，痕迹增长也增快，最终信息素含量最高的路径即为蚁群算法所搜索到的最短路径。<sup>[2]</sup>

#### 2.1.1.3 状态转移方程

构建启发式信息矩阵，启发因子  $\eta_{ij}$  表示蚂蚁从  $i$  点移动到  $j$  点的期望程度。

设障碍物处的启发式信息为 0，可飞行区域的启发因子  $\eta_{ij}$  为每个栅格至目的地栅格距离的倒数，可知距离目的地点越远，启发因子值越小。蚂蚁从起始点  $S$  出发开始搜索路径，找出当前栅格点的所有无障碍相邻栅格点，再筛选出当前可选择的栅格点。根据下式求得蚂蚁转移到下一栅格点的概率：

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \times \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{k \in allowed_k} \tau_{ij}^\alpha(t) \times \eta_{ij}^\beta(t)}, & j \in allowed_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中  $\alpha$  为表征信息素重要程度的参数， $\beta$  为表征启发式因子重要程度的参数。 $\tau_{ij}(t)$  表示从  $i$  点至  $j$  点路径上的信息素含量， $allowed_k$  表示第  $k$  只蚂蚁下一阶段可以选择的节点集合。

根据求出的概率，利用轮盘赌的方法选择蚂蚁下一阶段的栅格点。

#### 2.1.1.4 信息素更新

信息素更新有两个部分组成，分别是实时信息素更新和路径信息素更新。实时信息素更新表达式如下式所示，表示每一只蚂蚁进行上述 1.3 的选择后对其所选栅格的信息素进行更新：

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\tau_0$$

其中  $\tau_0$  为信息素的初始值， $\rho$  为信息素蒸发系数。

当所有蚂蚁均从起始点 S 到达目的地点 E 后，选取所有经过路径中距离最短的一条路径，对其上每一点的信息素进行更新，即：

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\Delta\tau_{ij}$$

其中， $\Delta\tau_{ij} = 1/L_{\min}$ ， $L_{\min}$  为最短路径的长度。

#### 2.1.1.5 仿真结果分析

根据多次实验的结果，设置算法仿真的相关参数为：表征信息素重要程度的参数  $\alpha=1.2$ ，表征启发式因子重要程度的参数  $\beta=8$ ，信息素蒸发系数  $\rho=0.4$ 。设置蚂蚁个数  $M=50$ ，最大迭代次数  $k=100$ ，起点 S 坐标为 (0,20)，目的地点 E 坐标为 (20,0)。

仿真结果如图 3、图 4 所示，蚁群算法最优路径在完成第 48 次迭代后达到收敛状态，收敛时四旋翼无人机最短航迹长度为 33.2132（千米）。

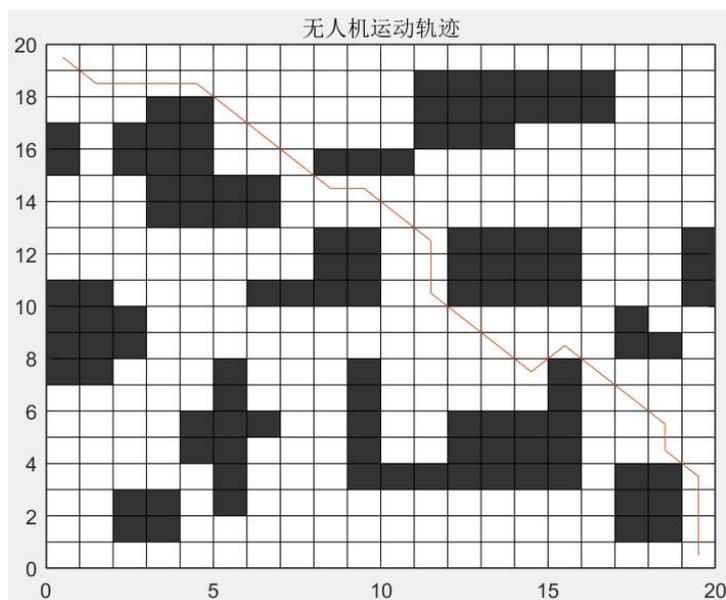


图 3 无人机运动轨迹

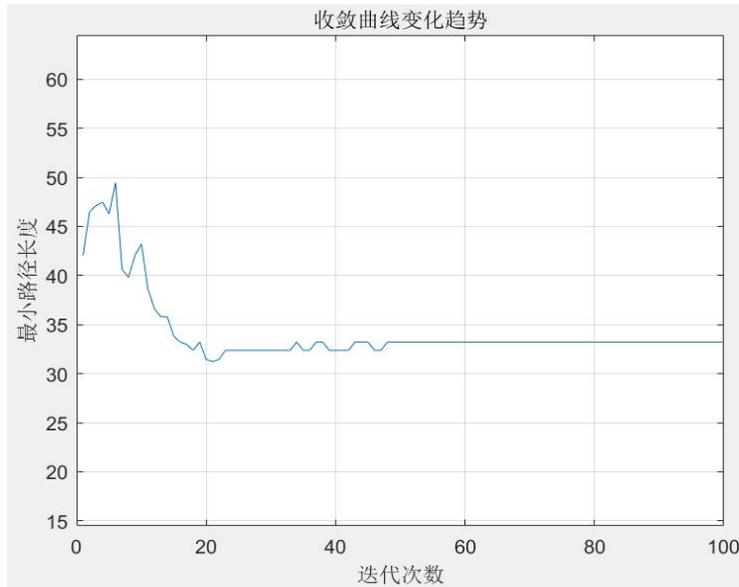


图4 最优解收敛情况

### 2.1.2 三维最优路径建模仿真

在 2.1.1 中得出了在二维的城市环境中的最优航迹，本节主要研究在二维航迹最优的基础上三维最优航迹的建模与仿真。

#### 2.1.2.1 三维城市模型的建立

首先对上一节中的二维建筑物分别进行编号，编号结果如下图所示：

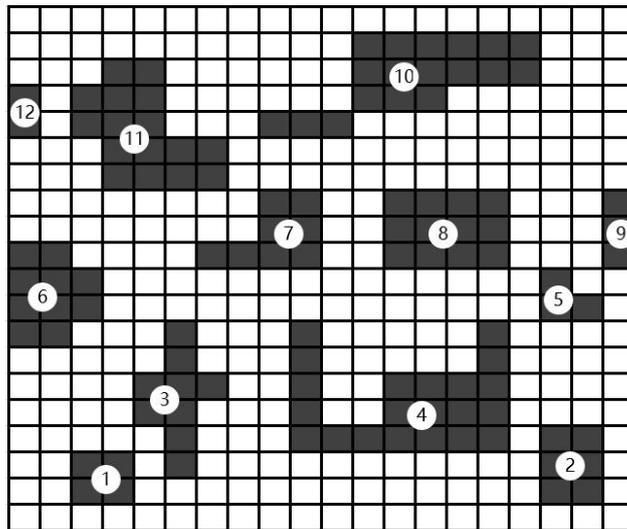


图5 各建筑物标号图

然后分别对建筑物的高度进行赋值，建筑物高度如下图所示：

表1 对应建筑物高度表

建筑物编号	建筑物高度（米）	建筑物编号	建筑物高度（米）
1	12	7	12
2	15	8	15
3	9	9	9
4	18	10	12

5	9	11	15
6	18	12	9

最终得出建筑物的三维立体图，如下图所示（S表示起点，E表示终点），其中绿色区域为草地：

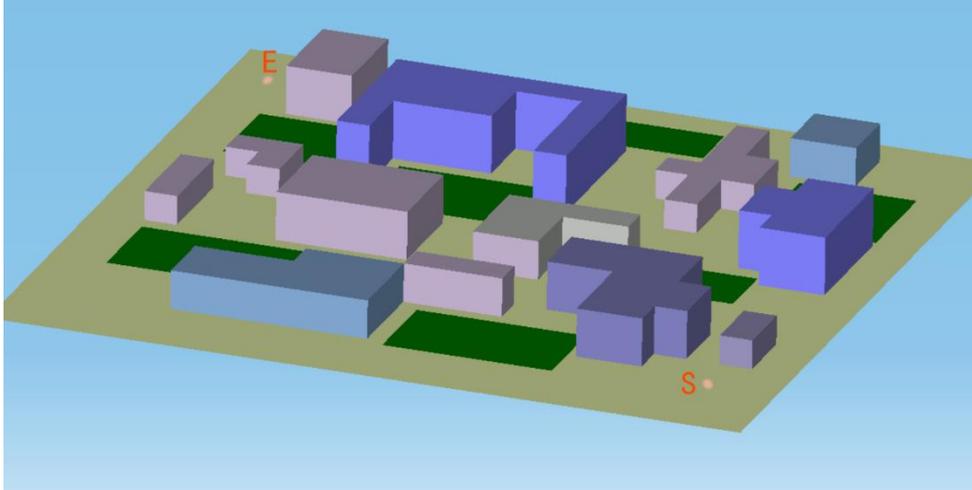


图 6 建筑物三维立体图

#### 2.1.2.2 无人机模型的建立

建立的四旋翼无人机三维模型如下图所示：

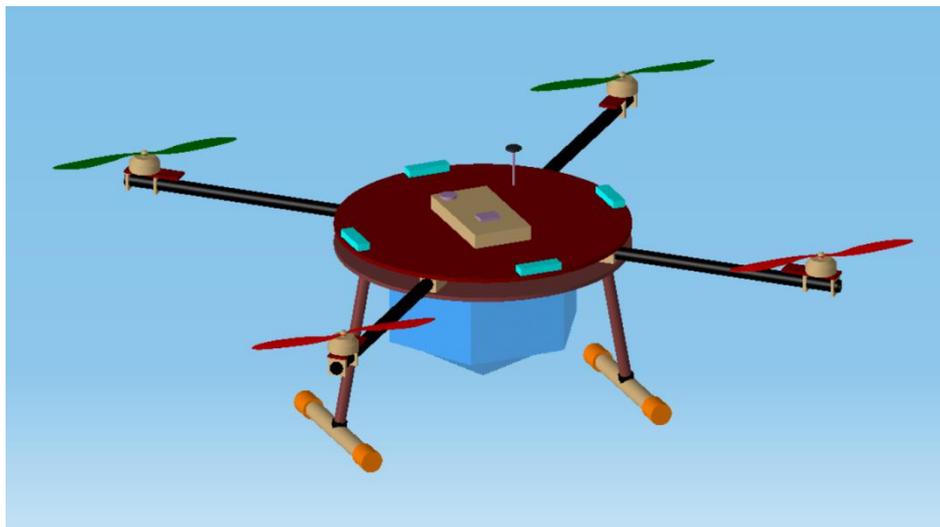


图 7 四旋翼无人机三维模型

其中红色螺旋桨表示前，绿色螺旋桨表示后，机身上面搭载北斗定位模块以及风速传感器，可以实现对四旋翼无人机的精准定位，四旋翼无人机也可以实时感知外界风速及风向，机身下面是装载的运输物品。

#### 2.1.2.3 三维最优路径

上一节我们得出了投影到二维平面内的最优路径，路径最优即在保证安全的情况下航迹最短，

在四旋翼无人机在执行实际飞行任务中为保证安全，要求无人机在航路阶段要保持一定的飞行高度，不能忽高忽低，因此我们认为三维情况下只需考虑无人机的起飞方式及航路飞行的高度，即以怎样的起飞方式能够使得无人

机电量消耗最少，因此我们使用无人机拉力测试台进行无人机拉力与耗电量的测试，我们用到的测试工具是 T-motor 7005 电机、26 寸劲旋风螺旋桨、好盈 35A 电调、6SLipo 电池。经过多次的拉力台测试，我们得到如下图所示的电压、电流、转速、拉力、等数据：

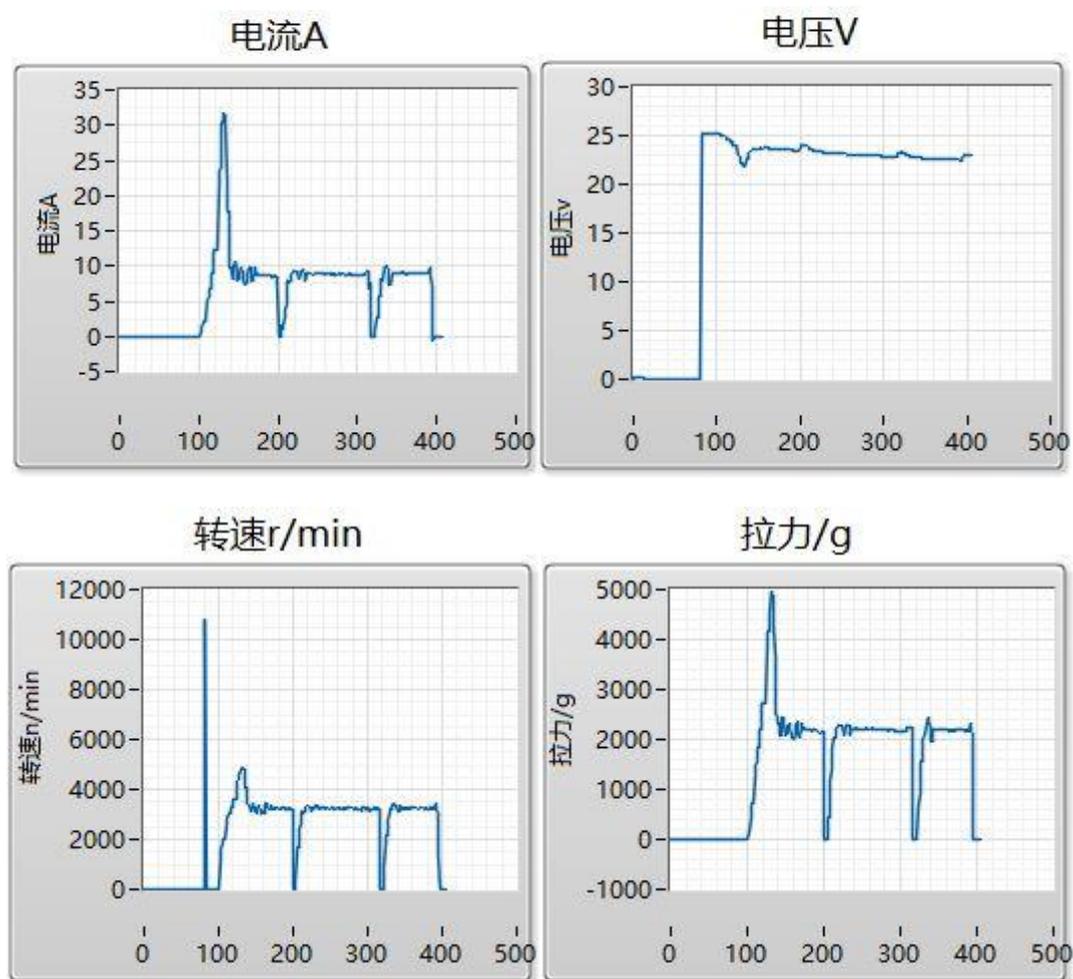


图 8 无人机拉力与耗电量相关数据图

从图中可以看出无人机载重开始起飞时需要很大的拉力，因此开始时电流增加，电压减小，拉力增大，当无人机到达一定的高度，此时电压和电流都恢复到正常水平，单颗电机拉力值也稳定在 2100g 左右，且无人机应垂直起飞，该起飞方式为最优起飞方式。

最后体现到三维飞行路径，如下图所示（图中白色的曲线为航迹）：



图 9 无风情况下三维飞行路径

## 2.2 有环境因素（风）影响的情况

### 2.2.1 在风的干扰下无人机空气动力学及姿态建模

#### 2.2.1.1 四旋翼无人机飞行原理

四旋翼构型无人机分为两种分别是“X”型和“十”字型，如下图所示，其中“X”型无人机最为常用。

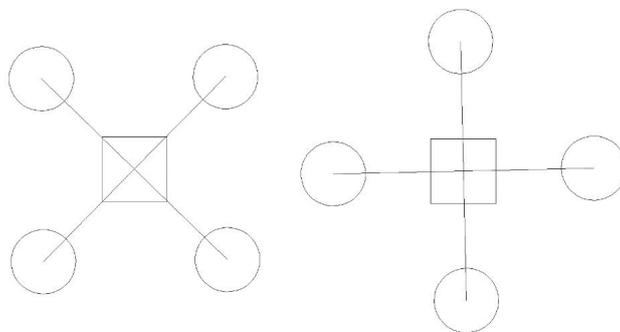


图 10 X 型与十字型无人机

接下来以“X”型无人机为例来讲飞行原理；

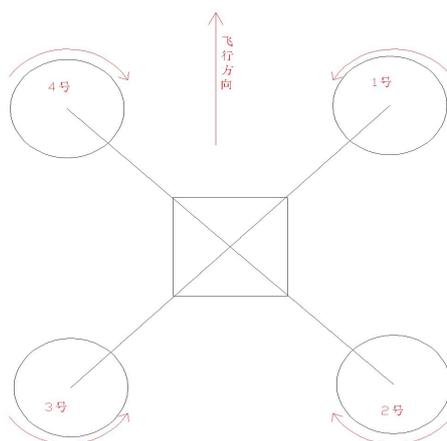


图 11 X 型无人机

从上图中可以看到，1号电机和3号电机转向相同、4号电机和2号电机转向相同，这样各力矩相互抵消实现无人机的平稳飞行。

对于无人机的姿态变换，三维示意图如下图所示：

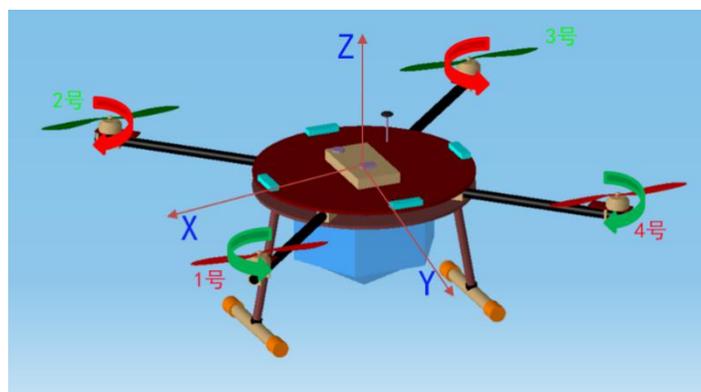


图 12 无人机姿态变换三维示意图

当1号和4号电机转速加快、2号和3号电机转速减小时，无人机绕X轴产生抬头力矩，无人机向后运动，反之向前运动；当1号和2号电机转速加快、4号和3号电机转速减小时，无人机绕Y轴产生滚转力矩，无人机向左运动，反之向右运动；当1号和3号电机转速加快或者当2号和4号电机转速加快，此时无人机绕Z轴做偏航运动。

### 2.2.1.2 风干扰下四旋翼无人机空气动力学模型

在本文中，我们仅讨论横侧风对无人机的影响，下图为无人机的侧视图。

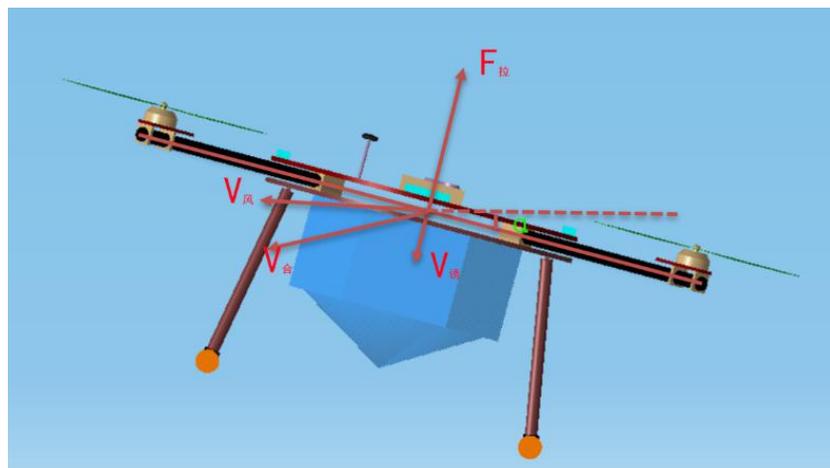


图 13 四旋翼无人机侧视图

图中的 $F_{拉}$ 为螺旋桨产生的拉力大小， $V_{风}$ 为横侧风的风速大小， $V_{诱导}$ 为螺旋桨产生气流的诱导速度， $V_{合}$ 为 $V_{风}$ 与 $V_{诱导}$ 的矢量和。<sup>[3]</sup>

无人机的拉力公式为

$$F_{拉} = 4 * 2 * \rho * \pi * R^2 * V_{合} * V_{诱导}$$

其中， $\rho$ 是当地空气密度， $R$ 是单个螺旋桨的有效作用范围

当受到横侧风时，且无人机上无风速传感器，此时 $\alpha = 0$ ，由旋翼的动量理论可得：

$$F_{拉} = 4 * 2 * \rho * \pi * R^2 * \sqrt{V_{风}^2 + V_{诱导}^2} * V_{诱导}$$

当受到横侧风时，且无人机上有风速传感器，此时 $\alpha \neq 0$ ，由旋翼的动量理论可得：

$$F_{拉} = 4 * 2 * \rho * \pi * R^2 * \sqrt{V_{风}^2 + V_{诱导}^2 - 2 * V_{风} * V_{诱导} * \sin \alpha} * V_{诱导}$$

从公式可以看出，在风速大小不变的情况下， $\alpha$ 越大，则无人机要保持相同的拉力，则需要的诱导速度越大，即转速越高；在 $\alpha$ 大小不变时，风速越大，则需要的诱导速度越大，即转速越高；当 $\alpha$ 和转速大小不变时，随着风速的增大，拉力大小逐渐降低。

### 2.2.1.3 风速大小与四旋翼无人机倾角 $\alpha$ 的关系

当有横侧风吹向无人机，无人机需要倾斜一定的角度以及加大螺旋桨的转速来达到稳定在悬停在原位置的目的；考虑到不同类型的无人机对风的抵抗能力有所不同，即对于同样的风，不同种类的无人机需要的倾角不同，本文只以

我们团队进行试验的无人机进行模型的建立，机身重量为 $m_{\text{机身}} = 2\text{kg}$ ，载重为 $m_{\text{载重}} = 2.4\text{kg}$ ，对角线电机距离为 $d_{\text{对}} = 1.8\text{m}$ ，空气密度 $\rho = 1.293\text{kg}/\text{m}^3$ 。

机身面积

$$S_{\text{机身}} = d^2/2$$

机身投影到 YZ 面的面积

$$S_{YZ} = S_{\text{机身}} * \sin(\alpha)$$

螺旋桨拉力在 X 轴上的分量为

$$F_{\text{拉}x} = (m_{\text{机身}} + m_{\text{载重}}) * g * \tan(\alpha)$$

风力大小

$$F_{\text{风}} = \rho * V_{\text{风}} * S_{YZ} * V_{\text{风}}$$

要保证水平以方向的力平衡

$$F_{\text{风}} = F_{\text{拉}x}$$

得到， $\alpha$ 与风速大小 $V_{\text{风}}$ 的关系为

$$\alpha = \arccos\left(\frac{2 * (m_{\text{机身}} + m_{\text{载重}}) * g}{\rho * d^2 * V_{\text{风}}^2}\right)$$

绘制风速 1-10m/s 与 $\alpha$ 的关系图，如下图所示（倾斜角的单位是 rad）：

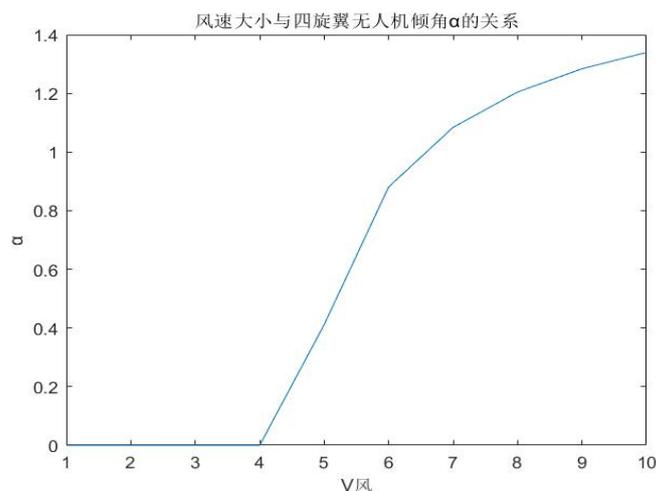


图 14 风速与无人机倾角关系图

对于我们团队使用的无人机，为大型无人机，因此当风速低于 4m/s 的时候，无人机几乎不倾斜，随着风速的增大，倾斜角不断增大。

### 2.2.2 3D 建模仿真

为了使 3D 仿真结果可视性更高，我们假设某段飞行路径上风速大小为 5m/s，则此时无人机在进入风场前需要倾角 23 度，而且螺旋桨转速要增加，这样才能保证无人机实际航迹与预定航迹无偏差。3D 仿真如下图所示，此时的飞行的航迹与预定航迹偏差为 0，达到我们需要的飞行效果。

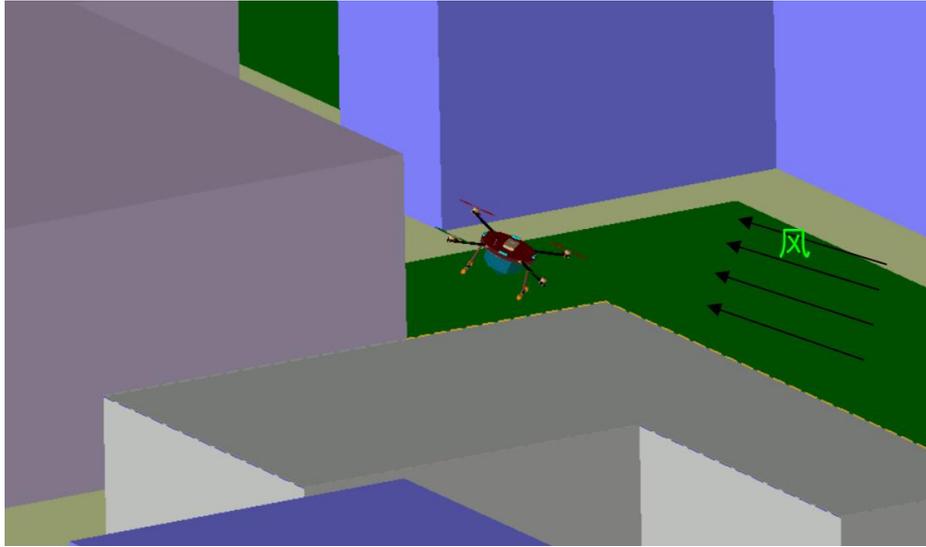


图 15 有风状态下无人机偏转

如果此时无人机没有搭载风速传感器，则此时无人机的航迹将与预定的航迹偏移，航迹偏移图如下图所示：

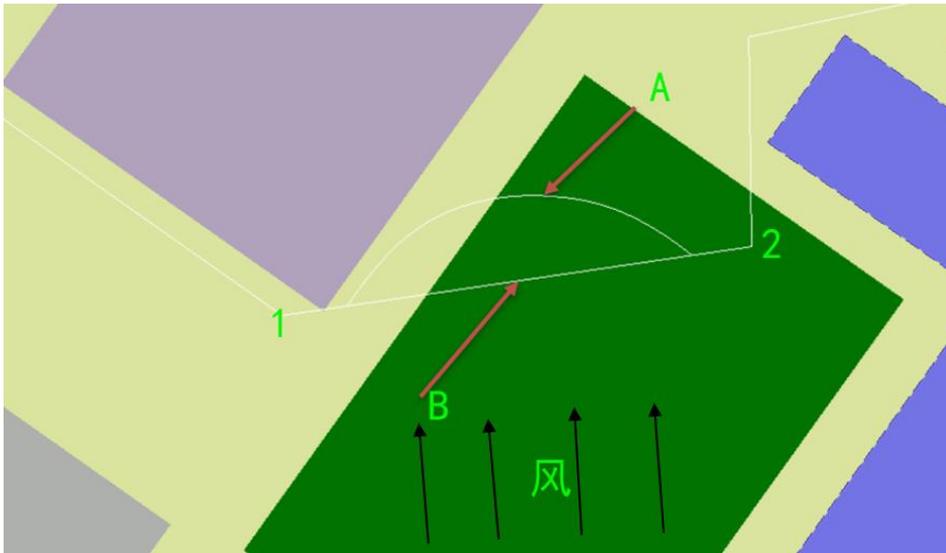


图 16 有无搭载风速传感器的航迹对比图

从 1 飞到 2，由于中间有风的影响，而且无人机没有进行相应的姿态转变，所以造成了航迹与预定航迹的偏差，A 表示实际航迹、B 表示预定航迹。

### 2.3 无人机电路优化

为了使无人机更加的节能，我们团队还对无人机的电路进行了优化配置，即寻求最优的电机、电调、螺旋桨的搭配，我们分别选用了 MAD5008，MAD5010，T-motor7005 电机，好盈 35A\50A\60A 的电调，劲旋风 22\24\26\28 寸螺旋桨对四旋翼无人机进行搭配，其中 MAD5008 与 MAD5010 号电机的标配为 22 寸螺旋桨，T-motor 7005 号电机可以搭配 24/26/28 寸的螺旋桨。根据以上要求，共有 16 种电机、电调、螺旋桨的搭配方法。例如四旋翼无人机配置为 5008 2275 35A 表示该种无人机使用 MAD5008 电机、22 寸的螺旋桨和 35 安的电调。利用无人机拉力测试台测量在保持四旋翼无人机拉力不变的情况下，流经电机的电流，电流强度越小，无人机电路配置越省电。

进行三次实验取测得电流的平均值，所得结果如下表所示，绘制无人机配置与流经电机的电流的折线关系图。

表 2 不同配置时流经电机的电流

四旋翼无人机配置	第一次实验	第二次实验	第三次实验	电流平均值
5008 2275 35A	9.10	8.90	8.70	8.90
5008 2275 50A	8.60	8.70	8.90	8.73
5008 2275 60A	9.90	10.00	10.00	9.97
5010 2275 35A	10.00	9.70	9.80	9.83
5010 2275 50A	10.00	10.30	9.90	10.07
5010 2275 60A	10.10	10.00	10.00	10.03
7005 2480 35A	9.60	10.00	10.10	9.90
7005 2480 50A	9.80	9.80	9.70	9.77
7005 2480 60A	9.90	9.90	9.80	9.87
7005 2680 35A	8.00	8.10	8.00	8.03
7005 2680 50A	9.50	9.30	9.10	9.30
7005 2680 60A	9.40	9.10	9.00	9.17
7005 2880 35A	9.00	8.70	8.90	8.87
7005 2880 50A	9.30	8.80	8.90	9.00
7005 2880 60A	10.20	10.00	9.90	10.03

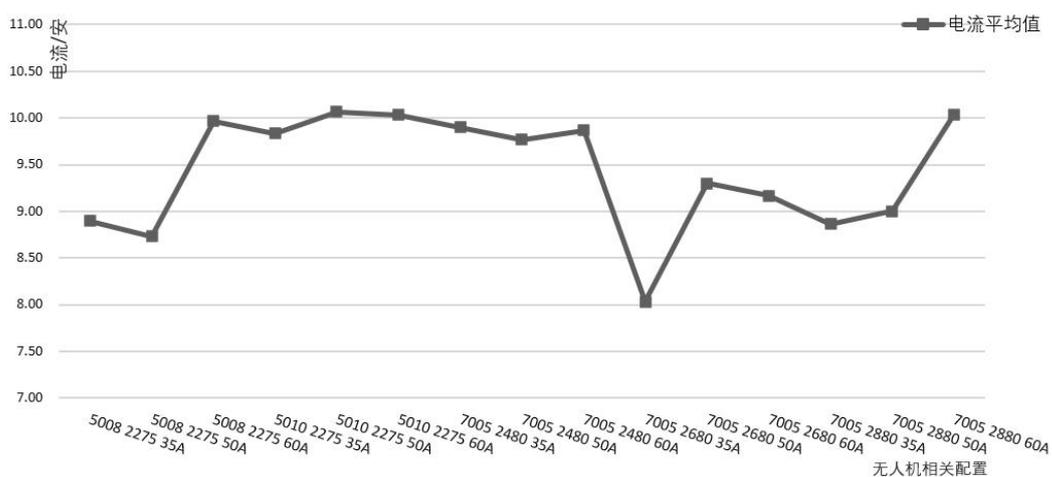


图 17 无人机配置与电流折线图

由上图可知，在以上所有搭配中，当选用 T-motor7005 电机、26 寸螺旋桨和 35A 的电调的配置时，流经电机的电流最小，为 8.03 安，故此时的搭配最节约电量，为四旋翼无人机的最优搭配。

---

## 3 四旋翼无人机的应用

### 3.1 目前主要应用

目前无人机的制作工艺逐步精湛，也出现了许多如雅得、活石、宝贝星、诺巴曼、司马、大疆等知名的无人机厂商，四旋翼无人机得到了极大的普及与广泛的应用，在人民生活领域，四旋翼无人机可以搭载高清探测设备进行电力、石油管道、天然气管道等巡检；结合遥感技术对区域探测，为城市规划、铁路建设等项目提供便利；同时由于四旋翼无人机具有机动性强、可靠性高等优点，在发生灾难事故时可用于灾害救援和运送医疗物品等多项工作。除了给人们的生活带来便利，无人机也在军事领域做出了突出贡献。目前有研究将基于四旋翼无人机打造侦察平台与精确打击平台，用于解决城市地形复杂固定翼侦察机难以侦查和产生附带损伤等问题。<sup>[4]</sup>

### 3.2 本项目的实际应用

以“饿了么”无人机送外卖为例，现在“饿了么”已经得到批准了中国 17 条无人机配送航线，于 2016 年就开始将无人机外卖计划投入商用。在整个配送过程中，无人机飞行距离约占配送全程 70%，而每名骑手的行驶路程将只有原来的 15%。因此为了使未来无人机送餐成本相对纯陆路运输会大幅下降，外卖无人机应用于长距离的配送上才可能更占成本优势。这就要求配送过程中四旋翼无人机能够飞行更加持久，故要选择商家至顾客所在地的最短配送距离，同时送外卖所使用的无人机应该使用最节约能源的配置标准。在配送过程中，无人机或多或少会受到外界环境的影响，例如在阵风的干扰下航迹改变，因此将四旋翼无人机搭载北斗模块及风速传感器，飞行姿态会主动转变以减少实际航迹与预定航迹偏移量，从而减少事故的发生，将外卖准时、干净、安全的送往顾客手中。

但是目前在饿了么的无人机配送中，消费者是无法触碰无人机的，甚至在装载外卖和最后送餐至消费者手中这两个阶段至少需要 2 名外卖骑手进行辅助。因此我们下一步任务需要考虑如何安排无人机的悬停姿态及位置和其他保护措施，让外卖骑手数量和相关人力成本进一步减少，使得商家与顾客之间能够通过四旋翼无人机进行直接的“沟通”。

### 参考文献

- [1] 黄龙杨, 徐文辉, 屈文秋. 基于改进蚁群算法的无人机城市低空航迹规划[J]. 航空计算技术, 2020, 50(03):11-14.
- [2] 张博. 基于改进蚁群算法的无人机航迹规划研究[D]. 西安科技大学, 2019.
- [3] 邢哲文. 基于四旋翼飞行器的风场估计方法研究[D]. 西北工业大学, 2018.
- [4] 刚桂虎, 赵显. 小型旋翼无人机在未来城市军事行动应用中潜力评估[J]. 国防科技, 2017, 38(02):33-37.

---

# 人工智能视角下北斗时空智联引导草原放牧及转场的系统组成

作者：杜翔、牛牧文、孙一铭、王瑞

指导教师：李键、苏军

学校：福建农林大学

---

**【摘要】** 随着畜牧业的发展和肉制品市场需求的增加，如何解决过度放牧所带来的草场退化问题是畜牧业可持续发展的核心问题。本研究利用北斗卫星定位系统（BDS）的实时定位和短文互报功能获取牧群移动轨迹，通过首创的无人机 RTK 扫描+雷达检验的航测方式获取草原植被生物量数据，结合牧群实时动态和草场生物量变化从而建立牧群日摄食量的模型，以此判断牧群的转场情况，以环境容纳量即 K 值数据库为比对，经 AI 训练获得最佳转场位置，处理中心站通过 GPRS 模块控制无人机，实现远程指挥转场的效果。每次规划结果贮存到系统服务站，便于政府农业部门对草场的区域发展与生态规划。实现草地资源可持续利用，推动我国自然-经济-社会复合生态系统的发展。

**【关键词】** 草场退化；牧群转场；K 值；BDS；RTK

**【Abstract】** the development of animal husbandry and the increase of market demand for meat products, how to solve the problem of grassland degradation caused by overgrazing is the core of sustainable development of animal husbandry. In this study, the real-time positioning and short text exchange function of the Beidou navigation system were used to obtain the moving track of the herd, and the grassland vegetation biomass data were obtained by the aerial survey method of the first UAV RTK scanning + radar examination, combining the real-time dynamic of the grazing group with the change of the grassland biomass, the daily food intake model of the grazing group was established to judge the transition situation of the grazing group, and the optimal transition position was obtained by AI training, the Processing Center station controls the UAV through GPRS module to realize the effect of remoting command and transferring. The results of each planning are stored in the system service station, which is convenient for the regional development and ecological planning of the grassland. To realize the sustainable utilization of grassland resources and promote the development of natural-economic-social compound ecosystem in China.

**【Key words】** Grassland Degradation; Herd Transition; K value; BDS; RTK

---

## 1 研究背景及目的

草地是地球表面重要的陆地生态系统,也是最大的被管理生态系统<sup>[1]</sup>。草地储存了陆地生态系统中近 1/3 的有机碳,维持着 30%的净初级生产力,提供全球 30%–50%的畜产品<sup>[2]</sup>,在全球气候变化、保持水土、调节畜牧业生产等方面具有重要的作用。放牧是天然草地利用的最主要方式,全球大于 1/2 的陆地为放牧地。我国现有天然草地总面积约 4 亿 hm<sup>2</sup>,其中 90%左右的草地因为过度放牧已发生不同程度的退化<sup>[1]</sup>。适度放牧有利于提高草地生产力<sup>[3]</sup>,加速生态系

统物质循环与能量流动，而过度放牧将影响草地植物群落、土壤微生物及生物多样性,进而破坏草地生态系统结构与功能，使草场发生逆向演替。<sup>[4]</sup>

因此综合考虑放牧行为与植被生长动态之间的相互制约和相互作用，来实现草场资源的高通量、多维度和同步性观测，对于合理利用草场资源尤为重要。本系统拟通过辨识牧群对牧草的采食强度及多光谱分区下草地的生长速率，进而获得草地利用分布情况以及不同利用强度下的草地有效利用面积，再根据牧群与草地之间的供求关系来指导草地的可持续利用。本方案旨在实现畜牧业生态经济效益，推动我国生态农业、有机农业、可持续农业的进一步发展。

## 2 北斗牧群智能转场系统

本系统主要分为用户部分、北斗系统、处理中心站，三者相互联系，互相作用，共同构成了北斗牧群智能转场系统。接下来将以羊群为例介绍该系统：

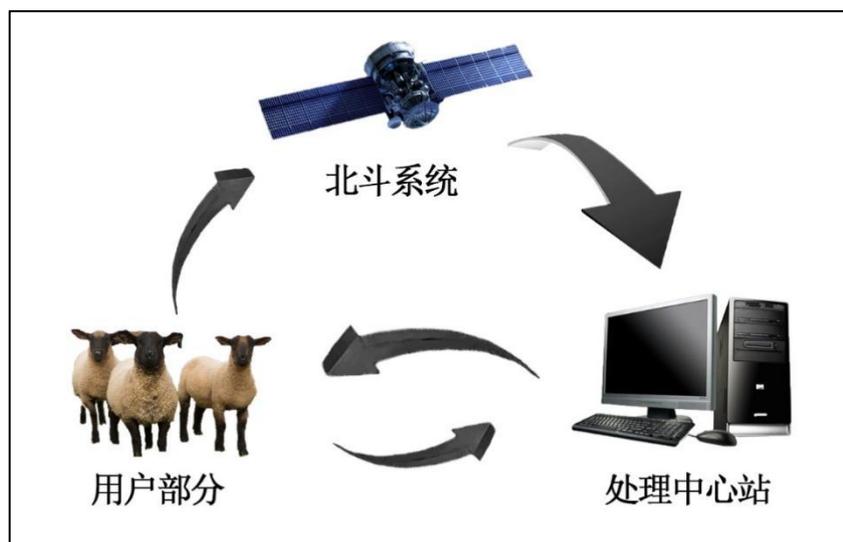


图 1 系统构成图

### 2.1 客户端软件

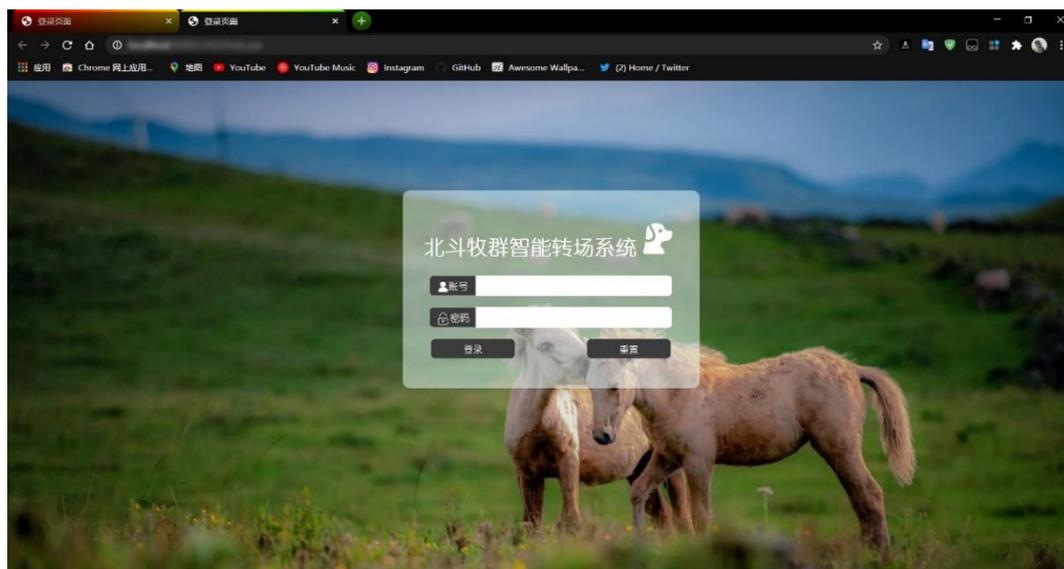


图 2 登录界面

登录成功后，进入系统的主页面，可以直观地看到系统的功能板块，首次进入系统界面，需要进行身份认证，输入项圈 ID 进行系统与服务器的云连接，

并选择所牧区建立通信端，做到实时定位无人机和羊群位置。点击管理按钮，可进行放牧轨迹查询、放牧时间设定、放牧位置预设以及收到放牧环境的通知。



图3 转场预设

点击牧群轨迹查询，可以显示当前正在放牧的羊的位置，羊的位置会通过设备发送信息到羊群管理界面，同样，无人机的位置信息状态也会同步更新在无人机管理界面和地图。规划好下一羊群采食的方位，然后在地图中设定好下一放牧区域，调动无人机将羊群赶到该区域，及时做好转场流动。



图4 转场提示

本系统设有放牧环境通知功能，结合中国气象网的天气信息，当牧民所在放牧区域将发生强降雨或其他天气问题时，系统会对牧民进行预警提示。



图 5 天气预警

## 2.2 北斗卫星导航系统

该系统由三部分组成，分别是用户、地面、空间三部分，其中空间部分由若干北斗卫星组成；地面部分包括主控站、时间同步/注入站和监测站等若干地面站；用户端指使用者。通信功能，具有 10 米的定位精度，测速精度 0.2 米/秒，授时精度 10 纳秒。<sup>[5]</sup>

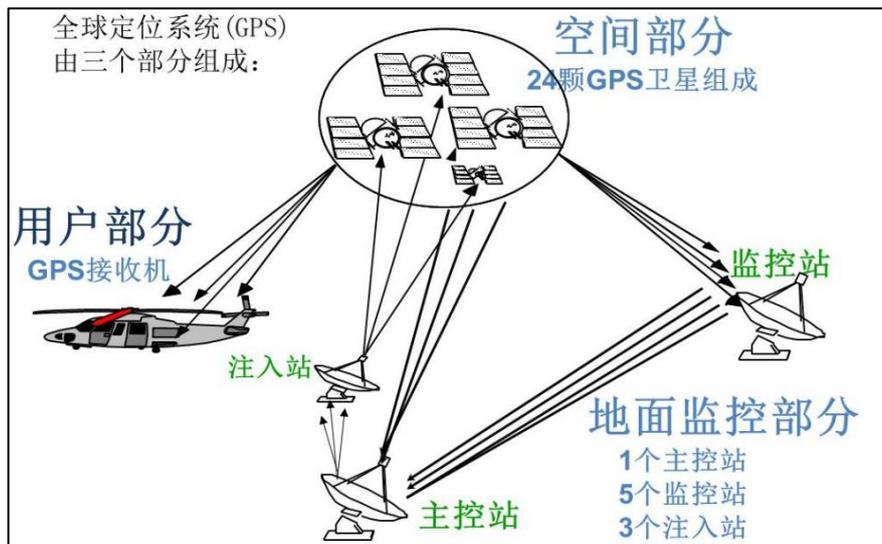


图 6 北斗卫星导航系统示意图

### GPS 原理:

利用空间分布的卫星与地面点的距离交会得出地面点位置，从而确定其位置的坐标。如下所示，假设  $t$  时刻在所需位置上安装卫星定位系统接收器，可知卫星型号到达接收机的间  $t$ ，结合接收器上得到的已知数据来推出以下方程：

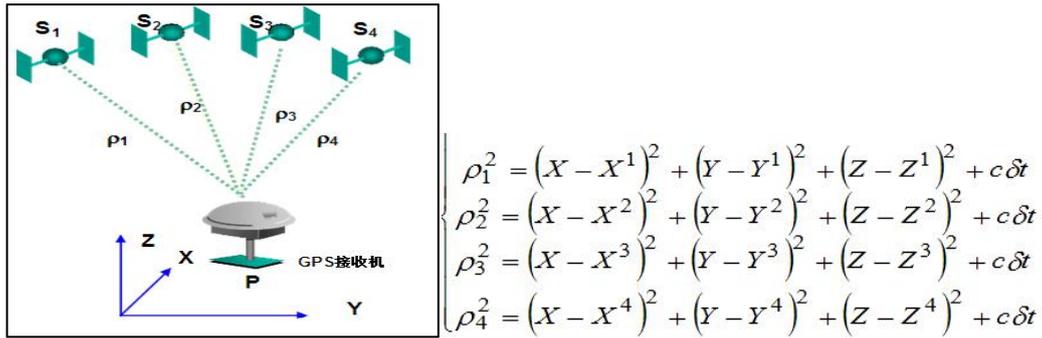


图 7 GPS 原理示意图

注：X、Y、Z 为三维空间坐标，C 为光速，δ 为接收机钟差。

### 2.3 系统运行流程

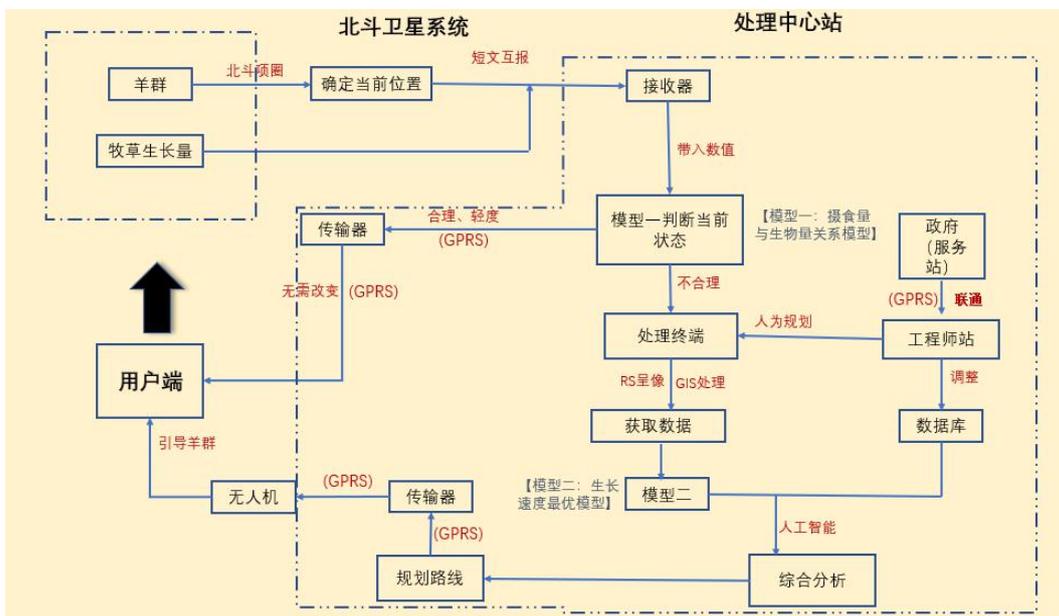


图 8 系统流程图

通过北斗卫星短文互报功能将羊群佩戴的北斗项圈获取的羊群当前位置与当前牧草生物量发送到接收器；接收器提取数据数值后带入模型一（摄食量与生物量关系模型）判断草场利用情况，如果情况为轻度利用和合理利用，则通过传输器向用户端发送“无需转场”信息；如果情况为不合理利用，则通过终端处理器利用 RS 成像与 GIS 处理技术获取地理信息带入模型二（植被生长速度最优模型）得出草场植被的环境最大容纳量，同时，系统设有工程师站，通过它可以人为规划和干涉转场路线，并且能够实时更新 K 值数据库。系统通过模型二和 K 值数据库进行智能分析，得出转场路线，政府部门可与工程师站联通反馈实现对草场的管控需求，最后将转场路线通过 GPRS 通讯技术发送到无人机与用户端，到达利用无人机引导羊群转场的目的。

---

编程环境: python 3

主方法:

```
import math

def main():
    while True:
        F, T, listAi, S = getdata1()
        FI = model1(F, T, listAi, S)
        change = check(FI, T)
        if change:
            grassland = getdata2()
            model2(grassland)

if __name__ == '__main__':
    main()
```

model1 方法的细节:

```
def model1(F, T, listAi, S):
    FI = 0
    TAI = 0
    for i in range(len(listAi)):
        if i == 0:
            TAI = listAi[0]
        else:
            TAI = TAI + listAi[i]

    for i in range(len(listAi)):
        fe = (F * T * listAi[i]) / (TAI * S)
        FI = FI + fe

    return FI
```

以上为主系统运行的部分代码，具体代码请查看附件

### 3 模型和数据库的建立

#### 3.1 牧群摄食量与草生长量关系模型

##### 3.1.1 羊群运动轨迹的获取与处理

在牧群中选取 10-20 只头羊配戴北斗定位项圈，采用 BDS 项圈（RF-V26，锐峰汇智）作为定位追踪设备，重量 190g。Hulbert 等通过研究发现当定位设备的重量与羊自身重量之比小于 2.2%，定位设备的存在不会对羊的采食速度和生理活动产生影响<sup>[6]</sup>。每间隔 5 分钟定位一次，产生连续定位数据，数据包包含项圈的使用 ID、位置信息（经纬度）、采集时间和定位时间。轨迹数据收集期间利用 GPRS（general packet radio service，通用分组无线服务技术）将 BDS 定位数据实时上传到超越位置服务平台（Exlive）并存入数据库。将所采集的数据传输到数据库后，利用 ArcGIS 软件对数据进行分析处理。首先，从数据库读取轨迹数据，利用创建 XY 事件图层工具使轨迹点进行显示。然后，通过擦除点工具将位于羊圈内无用轨迹点进行擦除，并分别对研究区及轨迹数据进行投影<sup>[7]</sup>。

每次按顺序选中一只佩戴 BDS 项圈的羊的轨迹，并利用追踪线间隔工具将项圈的点拟合成一个矢量轨迹，将全天的放牧轨迹进行分段处理。为提高处理轨迹点的效率，缩短处理时间，需要对项圈中的数据进行数据清洗和预处理。在所有数据中，将格式、逻辑错误的点剔除，把缺失值和重复值进行清洗<sup>[8]</sup>。预处理区分放牧轨迹和非放牧轨迹，并将非放牧轨迹去除，去除原则为：剔除

定位时由于轨迹漂移所产生的误差，计算相邻轨迹点速度，保留速度小于速度阈值（速度阈值  $v=0.3 \text{ m/s}$ ）的轨迹数据<sup>[9]</sup>；去掉牧群在畜圈中休息状态的轨迹段，并认为持续时间大于 3 小时的轨迹属于羊群休息或设备停机产生的无效轨迹段。

### 3.1.2 地面生物量的测定

在草场内利用无人机多光谱 Phantom4RTK 多光谱版对草场进行扫描，以此来确定生长状况分区。为了满足后期影像处理的需求，在航线规划过程中尽量增加重叠度，获取影像数据后，利用 Pix4D Mapper 软件进行拼接输出正射影像，使用 ENVI 软件对其进行几何校正、大气校正、反射率校正、图像裁剪、等预处理。最后进行监督分类，完成草场不同的发育程度划分。在无人机+RTK 数据采集之后，在各分区中随机采样、设置  $1\text{m} \times 1\text{m}$  的样方 10-25 个。<sup>[10]</sup>将不同区域内各个样方位置信息传输给智能采样机器人，其借助 BDS 定位导航系统，到达指定样方位置，进行齐地面式采样，继而将样方内的牧草齐地面剪下、编号，称取各样方的生物湿质量，再将牧草放入烘箱烘干，称取每个样方的干质量。最后记录地上的植被类型以及生物量的位置信息（经纬度）、海拔、干湿质量等。<sup>[11]</sup>

根据公式  $W_t = M_0 / S_i \cdot \sum S$

$W_t$  为分区面积内的草场的初始生物量； $M_0$  为各样方采样后的烘干质量平均值，单位面积为  $\text{g}$ ； $S_i$  为样方的采样面积，单位为  $\text{m}^2$ ； $\sum S$  为同一分区的总面积。整合不同发育程度草场的生物量，继而得到整个草场的初始生物量。

### 3.1.3 草量变化的获取

RTK（Real - time kinematic，实时动态）载波相位差分技术，是结合卫星定位与通信技术的实时相位观测量的差分方法。RTK 可以在指定测站中获取三维图像数据，具有厘米级精度，技术体系完善，常用于工程中的高程控制和地形扫描等测绘方面。将 RTK 配合无人机，可以达到快速扫描草场、节省人工成本、提高采集效率，且不受视线通视干扰的优点。<sup>[12]</sup>

雷达系统采用激光作为传感的载体，可以对极小的目标进行探测，相对而言其测量精度较高，所使用的波长比光学遥感的要长，能获得更准确的植被立体信息，得出植被高度情况。但是单独使用雷达系统工作效率比较低，尽管已有无人机机载激光雷达，但考虑到在已有的应用仍处于起步阶段，暂无大面积应用先例，需要我们自行验证可行性与精度，故不全面使用<sup>[13]</sup>。

因此我们采用无人机 RTK 先进行数据采集，再利用雷达系统对所获取的数据进行校准核验，降低数据误差，保证所获数据的可靠性，并提高数据采集效率。

Phantom4RTK 能够利用自带的航向规划软件，对多光谱划分后的区域进行航测路线的自动规划，提供摄影测量 3D 的功能，使用前需要提前设定好航线固定高度<sup>[14]</sup>，航摄重叠度设置 80%，旁向 70%，地面分辨率为 0.03m。为提高摄测精度，需要提前进行像控点布设，相邻像控点之间相隔 500m。使用 Metashape 软件对采集影像进行对其照片、像控点刺点、生成 DEM、生成单片正射影像等步骤<sup>[15]</sup>。最后将 Metashape 生成的单片正射影导入 Smart3D 软件，产生实景三维模型，通过比较牧群摄食前后的三维模型，结合三维草地高度差和草场生物量情况，可以计算得出不同区域的草量变化。

### 3.1.4 羊群采食强度

基于正常放牧的情况下，羊群日摄食量并无明显差别<sup>[14]</sup>，BDS测得的轨迹点所在位置即为畜群经过的采食区；轨迹点数越多，说明采食强度越大。本方案采用 ArcGIS 中的“创建渔网工具”对投影研究区进行网格划分，再利用“空间连接工具”对给定时间范围轨迹点数据与网格进行处理，用 1 个网格代表研究区，并与投影后的轨迹数据进行空间连接<sup>[6]</sup>，然后根据每个渔网中 BDS 轨迹点的分布情况和 RTK 得出的点位的草量变化，可计算得出羊群在每个区域的采食强度：

$$\sum FI = F \cdot T \cdot A_i / (\sum A_i \cdot S)$$

式中  $\sum FI$  为畜群 T 天的采食强度，g/m<sup>2</sup>；F 为畜群的日采食总量，g； $A_i$  为畜群采食 T 天第 i 个单元格内的 BDS 轨迹点数； $\sum A_i$  为畜群采食 T 天研究区总的 BDS 轨迹点数；S 为单元格面积 m<sup>2</sup>。<sup>[1]</sup>

### 3.1.5 转场评估

为了评价草地利用状况，本方案将羊群采食强度与草场生物量处理分析，获取研究范围内任意区域的采食强度及其草地生物现存量，根据自然间断点分级技术具有对相似数据进行最恰当地分类的特点，利用 ArcGIS 中的自然间断点分级技术对采食强度及产草量进行划分，然后根据草地的补偿性生长原理将草场利用状况 y 的基本函数公式总结如下：<sup>[7]</sup>

$$y = \begin{cases} It > Bt, \text{过度利用} \\ It = Bt, \text{中度利用} \\ It < Bt, \text{轻度利用} \end{cases}$$

式中 It 为采食强度分类等级，Bt 为生物量分类等级。

当  $It > Bt$  时，所在草场为过度利用，需要立刻进行转场； $It \leq Bt$  时，羊群对草场的利用评估为合理，无需进行转场。

## 3.2 草场地上生物量的动态模型及其研究原理与方法

### 3.2.1 资源种群动态模型的一般形式

$$\frac{dy}{dt} = ry(1 - y/k) \quad (1) \leftarrow$$

$$y = \frac{k}{1 + e^{-rt}} \quad (2) \leftarrow$$

本方案的生态学模型为 Logistic 方程，其增长机制的基本模型为：

(1) 式中，y 为植被种群生物量；r 为植被种群增长率；k 为环境所能承载的最大种群生物量。

(2) 式为草场植被种群增长表达式，即 Logistic 增长模型，描述了植被的动态增长。

具有如下特征：

①在草场的生长季内，生长发育阶段可分为“缓慢增长—迅速增长—缓慢增长”三个阶段。

②增长特征曲线呈“S”形变化，拐点在  $y=k/2$  处，植被种群增长速率最大。

[16]

### 3.2.2 植物个体生长模型——草场植被种群动态模型在个体中的表现形式

“无论从理论与实际来说，Logistic 模型是建立种群增长模型时首先的选择，而且亦往往是最为适宜的模型”<sup>[16]</sup>。本质上，它是植物与环境相适应的特性、生物体的生存特性、竞争特性以及生物体生长发育的特性在理性化处理时的数学表述<sup>[17]</sup>。

$$\frac{dx}{dt} = rn \times \left[1 - \frac{x}{k}\right] \quad \#(3)$$

(3) 式说明种群增长分配到个体的平均生长水平基本符合 Logistic 规律。

### 3.2.3 模型中参数的时变性与估计方法

模型中  $k$  值指的是草场植被种群的环境容纳量，由植被所在草场的生境条件所决定的<sup>[18]</sup>，所以不同的生态系统、不同的生境条件， $k$  值都会有所不同。本方案以文献数据库为基础，通过对大量文献数据库得分析，得出不同生境下各草场的估计。<sup>[19]</sup>

模型的求解：

首先，由方程 (1) 和 (2) 式来分析生长过程  $y - t$  曲线及生长速度  $\frac{dy}{dt} - t$  曲线的性质。

为求生长速度  $\frac{dy}{dt}$  随时间  $t$  变化的曲线，由 (2) 式对  $t$  求导可得：

$$\frac{dy}{dt} = \frac{rke^{a-rt}}{(1 + e^{a-rt})^2} = \frac{rk}{e^{-(a-rt)} + 2 + e^{a-rt}}$$

为求  $\frac{dy}{dt} - t$  曲线的顶点，由 (1) 式两边对  $t$  求导，并令  $\frac{d^2y}{dt^2} = 0$ ，即得：

$$r \frac{dy}{dt} \left(1 - \frac{y}{k}\right) + ry \left(-\frac{1}{k}\right) \times \frac{dy}{dt} = 0$$

即：  $r \left(1 - \frac{2y}{k}\right) \times \frac{dy}{dt} = 0$ ，由  $y \neq 0, y \neq k$  得  $y = \frac{k}{2}$ ，故  $\frac{dy}{dt} \Big|_{y = \frac{k}{2}}$  最大，此

时：  $\frac{dy}{dt} \Big|_{y = \frac{k}{2}} = r \frac{k}{2} \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{rk}{4}$ ，令  $y = \frac{k}{2}$  时，所对应的  $t$  值为  $t_0$ 。

下面求解  $\frac{dy}{dt}$  曲线的拐点，为此需求  $\frac{d^3y}{dt^3}$ ：

$$\frac{d^3y}{dt^3} = r \times \frac{dy}{dt} \left[ r - \frac{6}{k} \times \frac{dy}{dt} \right]$$

令  $\frac{d^3y}{dt^3} = 0$ ，得  $\frac{dy}{dt} = \frac{rk}{6}$ ，即曲线  $\frac{dy}{dt} - t$  的两个拐点为：

$$A_1(t_1, \frac{rk}{6}), A_2(t_2, \frac{rk}{6})。$$

将  $\frac{dy}{dt} = \frac{rk}{6}$  代入方程 (1) 中，得： $y^2 - ky + \frac{k^2}{6} = 0$  解得：

$$y = \frac{k}{6} (3 \pm \sqrt{3}),$$

于是  $A_1, A_2$  两点在  $y - t$  曲线中对应的点为：

$$B_1(t_1, \frac{k}{6} (3 - \sqrt{3})), B_2(t_2, \frac{k}{6} (3 + \sqrt{3}))$$

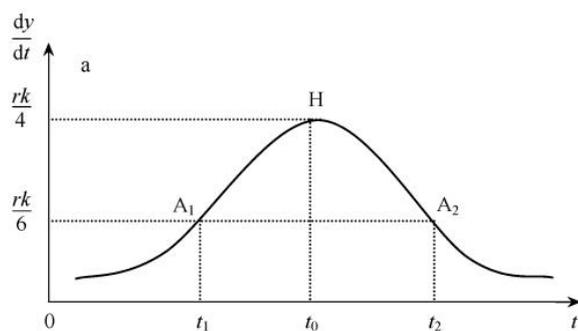


图9 生长曲线图

表 1 生长阶段生长速度对应图

T	$[0, t_1]$	$t_1$	$(t_1, t_0)$	$t_0$	$(t_0, t_2)$	$t_2$	$(t_2, \infty)$
y	缓慢上升	$\frac{k}{6}(3-\sqrt{3})$	迅速上升	$(t_0, \frac{k}{2})$ 拐点	继续上升	$\frac{k}{6}(3+\sqrt{3})$	趋于平稳
$\frac{dy}{dt}$	上升	$(t_1, \frac{rk}{6})$	上升	$\frac{rk}{4}$ 极大	下降	$(t_2, \frac{rk}{6})$ 拐点	继续下降
生长阶段	起步期	生长转折点 (突变点)	迅速生长期	生长高峰点	成熟期	成熟转折点 (突变点)	饱和期

通过上述曲线的处理可推出：

$$\frac{dy}{dx} = \begin{cases} \text{单调上升} & t < t_0 \\ \frac{rK}{4} (\text{极大值}) & t = t_0 \\ \text{单调下降} & t > t_0 \end{cases}$$

$\frac{d^2y}{d^2x}$  为区域中草场生长速度的加速度，设  $t_0$  为生物量达到  $K/2$  时的环境。

$$\frac{d^2y}{d^2x} = \begin{cases} >0 & t < t_0 \\ =0 & t = t_0 \\ <0 & t > t_0 \end{cases}$$

为了进一步了解草场补偿性生长的特点，确保草地的可持续利用，同时草场生长速度与  $t_0$  之前的生长状况关系密切，所以需将草场上的不同的生长阶段进行分段分析。

综上所述，我们将草场分成不同的 4 个阶段：

(1)  $t \in (0, [a - \ln(2 - \sqrt{3})]r)$  时，牧草为早期生长阶段，此时因为种群数量较少，其种群生长速度较慢，此阶段建议转场或禁牧。

(2)  $t \in ([a - \ln(2 - \sqrt{3})]r, ar)$  时，即此时达到  $k/2$ ，草场为快速生长阶段，此阶段在整个生长期中生长速度最大，理论上，此时进行合理放牧将产生最大收益。

(3)  $t \in (ar, [a - \ln(2 - \sqrt{3})]r)$  时，草场逐渐转向成熟生长转化的阶段，此阶段牧草生长也较快，仅次于迅速生长期，可以做放牧转场的目标且能产生较高收益。

(4)  $t \in ([a - \ln(2 - \sqrt{3})]r, +\infty)$  时，为牧草生长的饱和期，此时收到生长因子的强力制约，生长速度逐渐下降，当生长达到饱和值  $k$  时，此阶段草场可以加大放牧力度，使其达到第二阶段最佳。

### 3.3 K 值数据库的建立

本方案通过对中国知网数据库、万方数据库、维普数据库，数据搜索。首先搜得约 4630 篇草原生态系统中各生境下牧草 K 值数据的相关文献。从本方案设计目的为出发点，对每篇文献的研究目的、研究方法、特别是研究结果进行仔细分析，为了在进一步筛选所需论文中避免出现遗漏和偏差，设立了 5 条筛选标准：

- (1) 实验方式为野外实验，同时设置有实验组（放牧）和对照组；
- (2) 实验组和对照组必须处在相同草原或草场，保持其降水、湿度、温度、土壤理化性质、光照等生态因子相同；<sup>[20]</sup>
- (3) 实验时间需在一年以上，降低短期效应带来的不确定性；
- (4) 控制实验区的面积在大于 1000 平方米以上，避免局部实验带来偶然误差；
- (5) 实验组和对照组中与环境容纳量即 K 值相关的参数的期望、标准差、极值以及样本量能够直接从图、表或者文字中直接进行提取。或者通过参数数据，直接从文献中通过计算获得。<sup>[21]</sup>

经过筛选，最终确定了 273 篇与草原生态系统 K 值及环境容纳量相关的文献。以筛选出的文献为基础，建立分析数据库。在数据库中，我们也记录了论文实验点经纬度、海拔、降雨量、植被类型、年平均温度等信息，与此同时为详细了解不同调查目的的环境信息，可通过中国植物志 (<https://species.science reading.cn>)、中国气象局 (<http://www.cma.gov.cn>)、中国生态环境部 (<http://www.mee.gov.cn>)、世界气象中心（北京）(<http://www.wmc-bj.net>) 官网获取。

## 4 无人机智能放牧子系统

### 4.1 无人机智能放牧模块

#### 4.1.1 无人机放牧优势与方法

在传统人工放牧中，存在羊头易丢失、训练牧羊犬费时费力、牧民需实时跟随羊群的问题，相比之下，无人机放牧实现了对羊群数量与位置信息的有效监测，并且能够自动驱赶羊群，节省放牧过程中的人力物力，有利于我国畜牧业的智能化、信息化发展<sup>[22]</sup>。

无人机放牧子系统采用无人机发出声响来引导羊群，通过提前记录好牧羊犬吠的声音，利用无人机播放该声音来引导羊群。为保证驱赶效果，辅以训练让牧群能自主跟随无人机；在羊群中选出部分头羊，提前在无人机的飞行路径下投放食物，诱导头羊采食食物以达到跟随无人机的效果，重复训练后，促使头羊形成反射，能够带领羊群完成转移。无人机再将采集的各个草场的图像用 GPRS 方式传送到北斗牧群智能转场系统。

#### 4.1.2 控制算法

无人机控制模块的基本处理流程为：利用通信模块客户端发出并由云平台转发的控制数据（含目标点坐标、飞行参数），控制无人机以所在坐标为起始点，以设定速度、高度飞到目标坐标后悬停。

为了计算无人机航迹点坐标，首先需要计算出无人机飞行方向，无人机飞行方向由羊的位置坐标 $(x_1, y_1, z_1)$ 和牧场中心位置坐标 $(x_0, y_0, z_0)$ 共同决定，

$$\theta = \arctan \frac{x_0 - x_1}{y_0 - y_1} \text{ 以正北方向为基准，那么无人机前进方向夹角 } \theta \text{ 为：}$$

计算出方向后，在计算无人机航迹点坐标使，需要先将羊群的位置坐标  $(x_1, y_1, z_1)$  经过坐标转换为无人机坐标系  $(x'_1, y'_1, z'_1)$  下的坐标，转换公式为：

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c & x \\ d & e & f & y \\ g & h & i & z \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

公式中  $l, m, n$  参数均为 0，而旋转参数  $(a, b, c, d, e, f, g, h, i)$  和平移参数  $(x, y, z)$  与无人机起飞时的经纬度、海拔以及朝向相关。

在得到羊群位置在无人机坐标系内的坐标后，需要分析无人机追赶羊群时与羊群的位置关系；在设置好无人机飞行高度与无人机与羊的安全距离之后，由几何关系通过三角函数计算出无人机航迹节点位置坐标，具体公式如下图所示：

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L \cdot \sin \theta \cdot \sin \arccos \frac{H}{L} \\ L \cdot \cos \theta \cdot \sin \arccos \frac{H}{L} \\ -H \end{bmatrix}$$

计算出坐标之后，接下来只需要通过 GPRS 将坐标轨迹写入指令中发送给无人机。

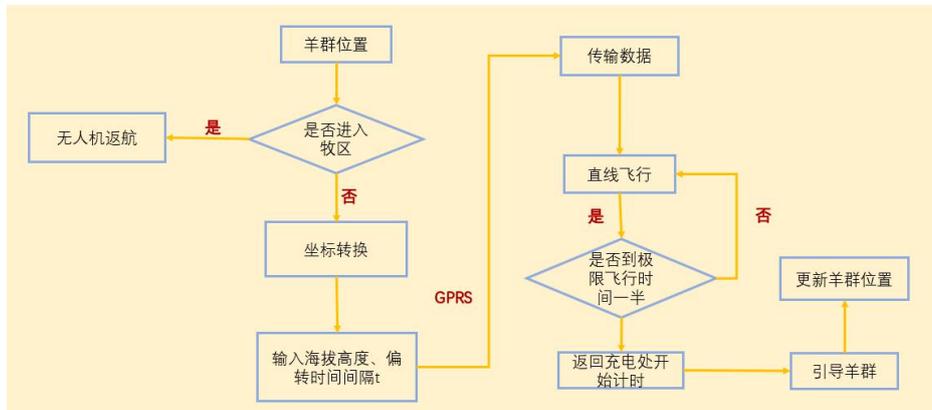


图 10 无人机运行流程图

### 4.1.3 无人机及组件



图 11 大疆 P4 MULLTISPECTRAL

表 2 无人机飞行控制调试各组件及功能说明

序号	硬件	信息	功能
1	无人机	大疆 P4 RTK 大疆 p4 MULTISPECTRAL	引导牧群
2	电脑	荣耀 MagicBook	作用终端
3	手机	华为 P20	运行 DJI GO4 APP
4	无人机飞行控制模块	Stm32f407GTC6+Air202	运行程序
5	ST-LINK	V2	烧录程序信息
6	串口转换器	TTL 转 USB	串口通信
7	高速分线器	USB 一转四接口	便于连接

### 4.2 GPRS 硬件模块

通用分组无线业务简称 GPRS，是 2G 向 3G 的过渡技术，不同于 GSM 系统，GPRS 在移动台（MS）和外部网络之间进行的数据传输中，其用户不使用永久连接，也可提供直接的 Internet 网络连接，并且保留了与 GSM 网络定义的无线接口，采用了与 GSM 网络相同的时隙、帧、复帧、超帧结构。<sup>[23]</sup>

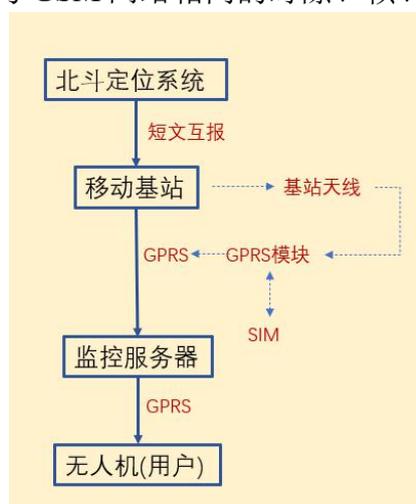


图 14 GPRS 模块示意图

### 4.2.1 STM32 单片机控制器

STM32F103 单片机专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用设计的:ARM32 位 Cortex-M3 CPU 内核，最高工作频率 72MHz，1.25DMIPS/MHz。单周期乘法和硬件除法。使用片上集成 32-512KB 的 Flash 存储器以及 6-64KB 的 SRAM 存储器。STM32 有睡眠、待机、停机 3 种模式，可降低功耗。集成嵌入式 Flash 和 SRAM 存储器的 ARM Cortex-M3 内核。

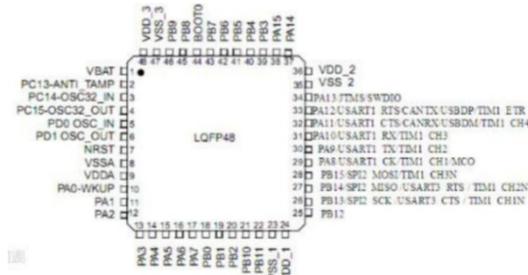


图 15 STM32F103 单片机电路图

STM32F103 单片机参数如下：

参数:
2.0V-3.6V 供电
兼容 5V 的 I/O 管脚
优异的安全时钟模式
带唤醒功能的低功耗模式
内部 RC 振荡器
内嵌复位电路
工作温度范围:-40° C 至+85° C 或 105° C

### 4.2.2 SIM900A 通信模块

GPRS 选用上海芯讯通公司生产的 SIM900A 模块，根据其自身具有 TCP/IP 与睡眠功能特点，睡眠功能可以通过发送“AT+CSCLK=1”进行控制，并且通过控制 DTR 引脚的电平进行模块的唤醒与睡眠。

SIM900A 是一个由定位芯片和 GPRS 无线通信芯片的组成的模块，能够实现定位功能、GPRS 数据传输、用户可以通过 GSM 网络完成向其发短信、打电话等功能让，可全天候运行。该模块内设 TTL 电平等接口,可处理通信标准差异问题

SMT 封装：易于客户生产加工

尺寸小：24\*24\*3mm

功耗低：待机模式电流低于 18mA、sleep 模式低于 2mA

供电范围宽：3.2~4.8V

支持频段：GSM/GPRS900/1800MHz

语音编码：支持半速率、全速率、增强型速率

支持回声抑制算法，可以基于不同客户设备通过 AT 命令调节回音抑制消除。

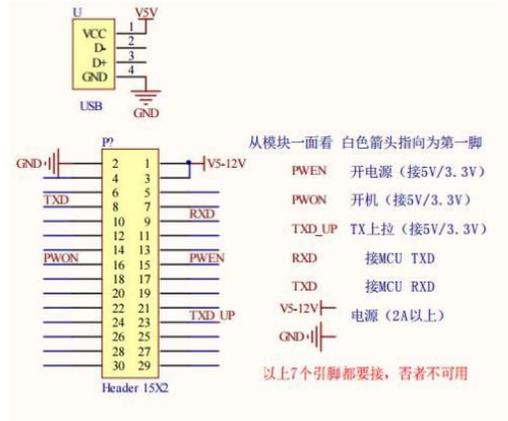


图 16 SIM900A 原理图

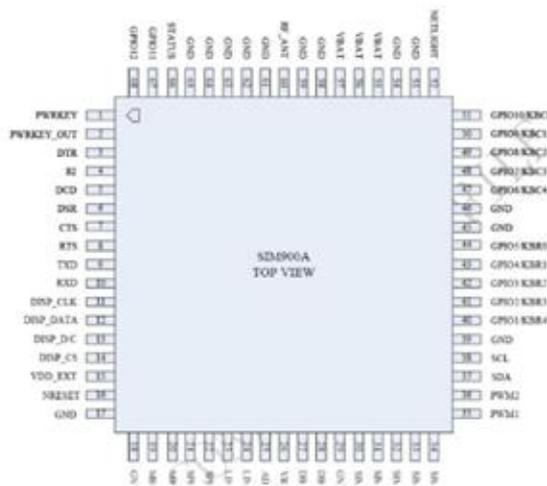


图 17 SIM900A 外电路示意图

考虑到一般草场上 GSM/GPRS 网络覆盖范围比较广，系统采用 GPRS 网络传送接收的定位数据与标签号。程序通过 SIM900A 发送 AT 指令，完成网络状态监测，控制 GPRS 模块启动分组数据连接。当数据准备就绪后调用 AT 数据包发送控制命令将数据发送至具有公网 IP 的远程监控中心（上位机），从而实现定位信息数据的传输与收集过程。GPRS 模块发送数据流程图如图所示。  
[24]

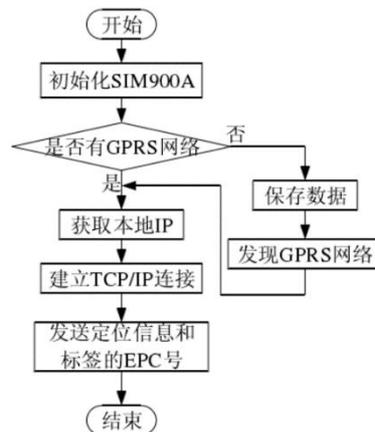


图 18 GPRS 模块发送数据流程图

所示 SIM900A 联网 AT 指令集：

AT指令	详细注解
AT+CREG?	查询网络注册信息
AT+CGATT?	查看是否附着GPRS网络
AT+CSST="CMNET"	设置接入点APN
AT+CIISR	激活移动场景，发起GPRS无线连接
AT+CIFSR	获取本地IP地址
AT+CIPSTART="TCP", "172.21.57.72","1231"	建立TCP连接
AT+CIPSEND	发送数据

## 5 创新点

### 5.1 RTK+雷达

无人机多光谱扫描是对草场生物量、牧群摄食量测定的传统方法，目前市场上的多光谱扫描精度基本为 0.12m 以上，具有扫描速度快、效率高等优点，但是难以满足测定牧群日摄食量的精度。而雷达测量出的生物量精度高，却存在扫描效率低，难以用其大规模扫描的问题。本方案采取的无人机+RTK 技术较为完善，且航测速度快，精度为 0.01-0.04m，可以实现高精度测量。为检测仪器精准度，再配以雷达进行小范围测量检验，提高精准性。首创的 RTK 扫描+雷达验证的方法不仅可以在本方案测定草场生物量、牧群摄食量中使用，也希望其可以为其他大范围区域性测量提供思路。

### 5.2 K 值数据库

K 值作为一个宏观指标,它反映了一定生境条件下牧草种群增长的上限,在模型参数的求算中,K 值的确定是最为重要的。但不同草场的生境多变,从而 K 值的确定尤为复杂。人工实验计算所得出的 K 值不仅费时费力,无法满足大规模的测量需求,而且求得的 K 值仍存在较大的误差限,效率低。本方案通过将知网、万方、维普等几大文献库中该地区物候、地理、气候等信息进行大数据检索、整合,从而形成 K 值数据库,其具有数据完整性、可共享性、通过组合分析可产生新数据的优点。结合特定草场实时生态因子数据,进行 AI 分析比较处理,再经过深度学习训练,确定不同草场的 K 值,以此方法能够较为准确地获得各个地区的 K 值。

### 5.3 系统方面政府规划统筹

系统集成中设立服务站,其可以与政府或相关畜牧规划部门直接连接。每进行一次牧民转场线路的规划,数据就会储存到服务站中,便于规划人员对放牧信息的查看和统计。服务站也可以根据实时需求,来区域性规划转场的大致方向,以此来调整牧群,避免其与施工工程或是突发情况发生冲突,实现政府对草场资源的规划管理,保证决策符合国家经济社会发展规划和生态环境要求。

### 5.4 北斗系统的引入

本方案采用北斗导航系统实现对牧群、草场的位置信息采集。充分发挥 BDS 系统实时导航、快速定位、精准授时、位置报告和短报文通五大功能优势。

---

## 6 未来展望

我国“十四五”规划将生态文明建设纳入社会 6 大发展目标之一，如何优化国土空间格局，推动精准农业、可持续农业、有机农业、智慧农业的发展尤为重要<sup>[25]</sup>。未来，我们将继续探究完善系统：

(1) 北斗定位项圈功能完善：加入生理感应装置，收集牧群当前生长信息和实时动态，方便牧民了解牧群的健康状况，及时反馈。

(2) 无人机硬软件完善：研发无人机自动避障功能，无人机接收到预订轨迹之后，可自动躲避路径中的茂密植被、障碍物、岩体、山体等。坚持可持续发展理念，引用新型可再生能源，研发无人机可配备的太阳能板，草原光照充足若满足其供电需求，即可持续工作。

(3) 人工智能完善完善：利用 AI 收集牧群的觅食轨迹及牧草类型，智能地优化放牧规划结果。

系统方面，与中国环保 NGO、政府环保部门等公益组织合作，共享信息，推动我国环保事业的发展。希望本方案在未来不断完善下，可以达到自然-经济-社会生态复合体的新高度，落实并进一步推动我国生态文明的发展。

### 6.1 背景分析

本世纪冠状病毒引发的流行病已经成为主要的全球健康威胁。2002 年在中国发现的 SARS-CoV 传播到 37 个国家，2012 年在沙特阿拉伯首次发现的 MERS-CoV 传播到 27 个国家。据统计，SARS 冠状病毒造成 8000 多人感染，800 人死亡，MERS 冠状病毒感染 2494 人，造成 858 人死亡<sup>[1]</sup>。2019 年 12 月初，武汉市出现 2019 年新型冠状病毒（COVID-19）引起的急性呼吸道疾病，这种病毒传播迅速，截至 2020 年 3 月 5 日，该病毒已蔓延至中国所有省份，共导致 80552 例确诊病例和 3042 例死亡<sup>[2]</sup>。

新冠肺炎具有可在人际间传播<sup>[3]</sup>、存在无明显症状感染者<sup>[4]</sup>、感染者有发病潜伏期<sup>[5]</sup>的特点，非常容易大规模传播，所以避免人际接触非常重要。全国各地都采取了非常严格的隔离措施，如封路、封村、封小区等。进行隔离时为了保障群众的基本生活需求，一般采取专有人员派送的方式，但是这种方法工作量大、时效性差且增大传染可能。

疫情防控期间，无人机在喷洒消毒、防疫宣传、投递测温等方面已经发挥了重要作用。目前无人机在医疗物资投送领域主要是通过“无人机+无人站”的方式，将物资运送到无人站，但是这种方式只能在固定线路进行运输，并且需要用户去无人站领取物资，这样并不能满足居家隔离人员的用药需求，所以需要一种能够实现配送入户、精准投送的无人机产品。

### 6.2 选题意义

本文提出了一种基于无人机的应急医疗物资无人化投送系统——天空生命卫士，可以应对疫情期间多种不同的紧急医疗服务需求，为隔离人员保障药物供应，同时加快药品输送过程，及时补给偏远乡村地区的医疗用品，降低血液等检验样本运送时间，从而缩短病人确诊时间，对于挽救病人生命具有重要意义。

### 6.3 特色描述

本作品充分发挥了无人机平台灵巧快速的优点，设计实现了适用于不同场景的应急医疗保障机制，具有以下特色：

### 6.3.1 系统机动灵活，可大幅提高配送效率

无人机依托地面遥控器和后台监控端就能对其进行掌控，不受交通路线限制，在续航满足情况下，可以完成覆盖一定区域的配送任务。无人机的运输速度远超过地面车辆，同时可以免受交通拥堵等特殊情况限制，配送效率较高。

### 6.3.2 具有目标识别系统，可以完成配送入户

传统无人机受制于定位精度和飞控技术，难以在复杂狭小环境中降落，一般需要操作员挑选适宜地点才能降落。本作品为了实现配送入户的功能，设计了可以在城市居民楼阳台降落的功能，基于百度 AI 的目标识别系统辅助降落，实现了在狭小空间的精准安全降落。

### 6.3.3 系统成本低廉，应用场景广泛

本作品设计了辅助降落功能，飞行避障功能，减轻了飞行操作的难度，只需一到两人经过简单培训就能完成对该套系统无人机的操作，完成应急医疗保障任务。本作品系统架构简单，通过简单调整就可以完成不同场景的配送任务，本文还提出了无人机应急医疗保障的多种未来可能的应用场景，可以进一步增强本作品的应用价值。

## 参考文献

- [1] Mitchell R, Allen V, Waller J, Ohlenbusch P . A mobile classroom approach to graduate education in forage and range sciences[J]. Journal of Natural Resources and Life Sciences Education, 2004, 33, 117-120.
- [2] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统[J]. 北京:科学出版社, 2000.
- [3] 李文斌, 何海霞, 邓红艳, 黎云祥. 适度放牧和受损管理对草地生态系统恢复的探讨[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(04):90-91.
- [4] 马继雄, 孔生福, 查芳. 高寒草甸演替趋势的研究[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2001(04):48-52.
- [5] 谢军, 张建军, 武向军. 大数据时代“北斗”卫星导航系统发展研究[J]. 中国航天, 2021(01):8-19.
- [6] Hulbert I A R, Wyllie J T B, Waterhouse A, et al. A note on the circadian rhythm and feeding behaviour of sheep fitted with a lightweight GPS collar[J]. Applied Animal Behaviour Science, 1998, 60(4): 359-364.
- [7] 汪传建, 江红红, 尹小君, 孙世泽, 张雅, 李冬. 基于 GPS 与无人机遥感反演草地生物量的放牧场利用强度评估[J]. 农业工程学报, 2018, 34(19):82-87.
- [8] 汪传建, 王伟强, 鲁为华, 文春雷, 尹小君, 赵庆展. 基于放牧时空轨迹数据的牧群采食量分布模型[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13):125-130.
- [9] 王新云, 郭艺歌, 何杰. 基于多源遥感数据的草地生物量估算方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11):159-166+294.
- [10] 孙世泽, 汪传建, 尹小君, 王伟强, 刘伟, 张雅, 赵庆展. 无人机多光谱影像的天然草地生物量估算[J]. 遥感学报, 2018, 22(05):848-856.
- [11] 沙文生, 王蕾, 张娜, 刘希鹏, 杨洁. 围封对荒漠草原植物群落特征的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(03):81-83.
- [12] 李冬, 汪传建, 王伟强, 江红红, 鲁卫华. 基于采样的草地生物量估算空间插值方法比较研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(02):206-210.
- [13] 吕晓煜. “无人机+激光雷达”在集通线复测中的应用[J]. 铁道勘察, 2020, 46(05):22-25.

- 
- [14] 王伟强, 汪传建, 余晓平, 文春雷, 张雅, 孙世泽. 基于 WebGIS 与北斗/GPS 的放牧监测系统[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(07):202-206.
- [15] 齐二伟, 李耀方. 精灵 4 RTK 无人机在土地整治项目复核中的应用[J]. 能源与环保, 2020, 42(10):116-119+128.
- [16] Lin L, Dickhoefer U, Müller K, et al. Grazing behavior of sheep at different stocking rates in the Inner Mongolian steppe, China[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2011, 129(1): 36-42.
- [17] 张彩琴, 杨持. 内蒙古典型草原生长季内不同植物生长动态的模拟[J]. 生态学报, 2007(09):3618-3629.
- [18] 王刚, 穆长虹. 与空间格局有关的单种群增长[J]. 草业学报, 1994(01):33-38.
- [19] 张美玲, 陈全功, 蒋文兰. 不同草地类型净初级生产力(NPP)模拟及其敏感性分析[J/OL]. 干旱区地理:1-17
- [20] 王芳. 草甸草原降水影响土壤水分渗透分析[J]. 南方农机, 2021, 52(01):80-81.
- [21] 周贵尧, 吴沿友. 放牧对草原生态系统不同气候区碳库影响的 Meta 分析[J]. 草业学报, 2016, 25(10):1-10.
- [22] 许有军, 刘秉良, 赵莉莉, 李金岩, 张美晨. 智能放牧系统的设计[J]. 福建电脑, 2017, 33(02):50+111.
- [23] 李文娇. 基于 RFID 和 GPRS 的羊群防盗预警系统的设计与实现[D]. 内蒙古科技大学, 2015.
- [24] 成志龙. 基于 GPS/GPRS 羊群自动踪迹识别系统的设计与实现[D]. 内蒙古科技大学, 2015.
- [25] 刘峥延, 毛显强, 江河. “十四五”时期生态环境保护重点方向和任务研究[J]. 中国环境管理, 2019, 11(03):40-45.

---

## 基于 BDS 与 UAV 的海上航空事故搜救系统

作者：梁健翔、张文涛、陈雅婷、檀东炜

指导教师：赖日文、王李进

学校：福建农林大学

---

**【摘要】**：海上航空失事事故对人们的生命与财产安全造成严重的伤害。根据世界航空失事数据的对比统计，揭示出海上航空事故搜救行动存在的局限性和未知性。本项目以 MH370 为研究模拟背景，首先利用 BDS 获取飞机失事前最后的位置信息，全面考虑飞机的各种参数因子，以应用数学方法建立相应的数学模型，对失事飞机的坠落区域进行预测及安排合理数量的特种 UAV 进行搜救任务。根据黑匣子信号发射的状态，分别设计主被动声呐探测方式并仿真模拟。UAV 运用 BDS 技术实现通信定位，同时搭载 LoRa 数据传输模块与云端连接实现数据通信，Android 应用端可获取云端数据以显示 UAV 行动轨迹、飞机坠机定位和实时监控图像。开发 PC 端仿真应用软件，以实现飞机坠机区域的经纬度预测和地理信息可视化。最后，本项目可正确预测坠机区域、降低搜救经济成本、优化搜救策略以及降低信息滞后的弊端，为未来对海上航空事故搜救的深入研究提供新思路。

**【关键词】**：海上航空事故，BDS 通信定位，UAV 搜救，建模仿真，Android 应用

**【Abstract】** Maritime and aviation accidents have caused serious damage to people's lives and property. According to the comparative statistics of world aviation accident data, it reveals the limitations and unknowns of maritime aviation accident search and rescue operations. This project uses MH370 as the research simulation background. First, the BDS is used to obtain the final position information before the crash, and the various parameter factors of the aircraft are fully considered. The corresponding mathematical model is established by applying mathematical methods to predict and arrange the crash area of the crashed aircraft. A reasonable number of special UAVs carry out search and rescue missions. According to the state of the black box signal emission, the active and passive sonar detection methods are designed and simulated. UAV uses BDS technology to accomplish communication positioning and is equipped with a LoRa data transmission module to connect to the cloud for data communication. The Android application terminal can obtain cloud data to display UAV movement trajectories, aircraft crash positioning, and real-time monitoring images. Develop PC-side simulation application software to realize the latitude and longitude prediction of the crash area and the visualization of geographic information. Finally, this project can accurately predict the crash area, reduce the economic cost of search and rescue, optimize search and rescue strategies, and reduce the shortcomings of information lag, providing new ideas for future in-depth research on maritime aviation accident search and rescue.

**【Key words】** Maritime aviation accident, BDS communication positioning, UAV search and rescue, Modeling and simulation, Android APP

---

# 1 引言

## 1.1 研究背景

随着科技的发展进步，航空飞机的失事数量和比例在逐年下降（图 1），但仍有已发生的航空事故未能得到有效解决，特别为海上航空事故。正如 2014 年发生的 MH370 失事事件，成为 21 世纪最大的谜团之一。卫星通信被认为是在全球航空飞行跟踪中可行的唯一方法<sup>[1]</sup>，目前世界上所使用的飞机跟踪系统是 ADS-B 技术。根据在地面部署一定数量的 ADS-B 地基，以此增大信号对飞机监控的覆盖面积。但是，在例如海洋等许多特殊地区，因为 ADS-B 的信号覆盖面积受限是无法做到对飞机的有效实时监控，成为“信号空虚地带”，这与 MH370 无法准确定位有关<sup>[2]</sup>。并且在海洋环境中存在复杂的气候、洋流和噪音等，对目标搜救定位产生一定的干扰；而且目前世界上搜救失事飞机还未有较为有效的数学模型去计算预测。因此，解决对海上失事飞机搜救定位成为现如今航空搜救的一大难题。

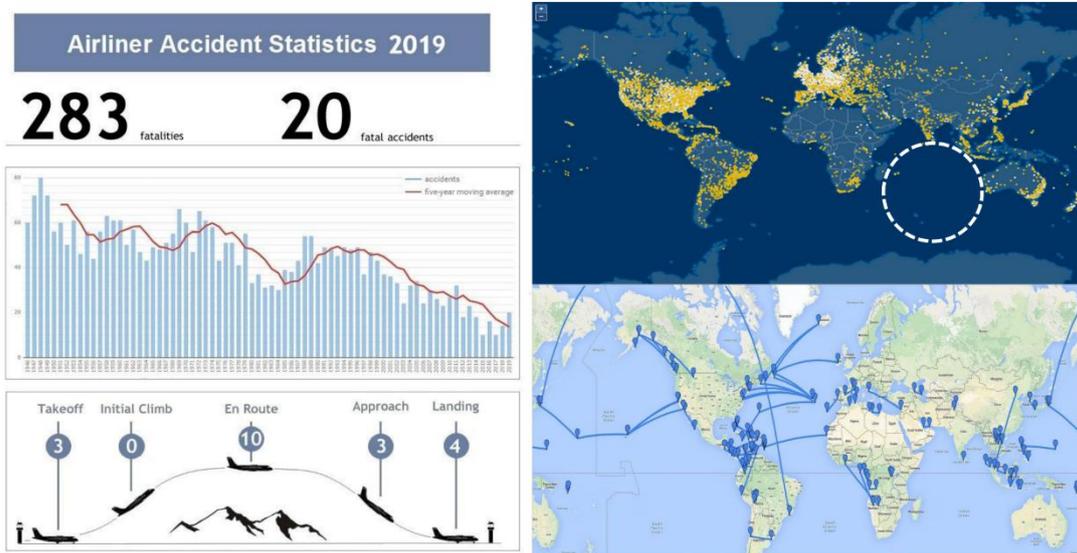


图 1 世界航空事故数量与发生地点统计（截至 2019 年）和地基 ADS-B 系统覆盖区域的局限性（白圈为疑似 MH370 坠机区域）

## 1.2 研究意义

限制于海洋环境的未知性与复杂性，传统搜救方式使相关人员无法快速、有效地获取飞机失事的信息。正如 MH370 事件，共有 26 个国家参与搜救行动，总投入 3.1 亿元人民币，但最终未有任何结果。关于海上搜救行动是有各国的海上救援中心统一指挥，派遣专业、政府和社会搜救力量开展行动。如今全球对飞机定位采用 COSPAS-SARSAT 系统包含三大导航卫星系统，即全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、格洛纳斯卫星导航系统（Global Navigation Satellite System, GLONASS）、伽利略卫星导航系统（Galileo Satellite Navigation System, GALILEO）<sup>[3]</sup>和海上搜救系统为全球海上遇险和安全系统（GMDSS），即由海陆空三种信号接收综合构成。但各国因为存在机密安全的问题，导致其功能无法完全使用且跨地区信号传输存在延迟问题<sup>[4]</sup>。而中国北斗卫星导航系统（BDS）采用 MEO、GEO 和 IGSO 卫星，具有高精度定位与实时通信导航的特点，可为搜救海上失事飞机提供坚实的技术力量。

本项目（图 2）基于 BDS 具有厘米级精度的通信定位系统，与海上无人机（UAV）搜救方案结合起来；UAV 搭载的 BDS 通信定位、声呐探测与数据传输模块等设备能在发现目标后的极短时间内将各种所需数据传输到指挥中心，由指挥中心对搜救船下达正确的行动策略，避免无效的搜救，极大提高搜救效率。随着未来 UAV 技术的进步发展，UAV 在搜救中将成为主要力量。

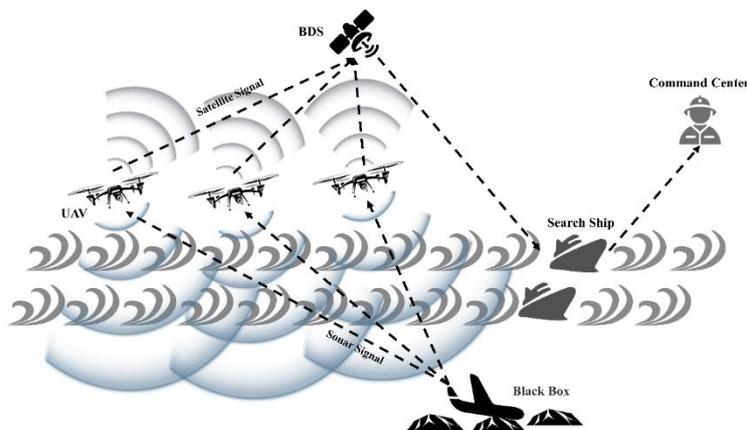


图 2 BDS 与 UAV 的海上航空事故搜救系统

## 2 系统框架与研究内容

### 2.1 系统功能目标

BDS 与 UAV 的海上航空事故搜救系统如（图 3）所示。根据获得飞机最后一次定位的经纬度以及飞机自身的各项参数，通过数学建模的方式对飞机坠毁区域进行预测，利用软件进行仿真处理得到可能坠机区域范围。UAV 所搭载的深海声呐探测模块用于对失事飞机残骸与黑匣子的搜救与数据收集，将获得的数据传送给单片机主控模块；由单片机主控模块对其进行应答，开启 BDS 通信定位模块，使 BDS 卫星对 UAV 在地理环境上进行精确定位并将 UAV 收集的数据传输至指挥中心的接收终端；指挥中心对其做出决策并对搜救船下达相应的指令。

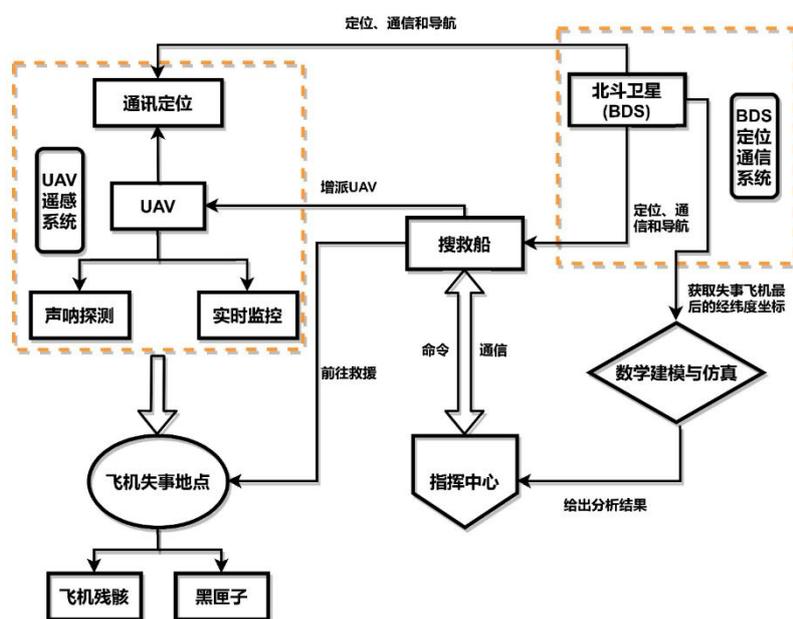


图 3 系统结构框架

## 2.2 系统技术路线

基于本项目对信息收集和传输的准确性和快速性，本项目开展对软硬件、工作原理及可行性等关键技术的研究，并从控制系统的软件、硬件和前端 3 个方面设计实现系统功能（图 4）。

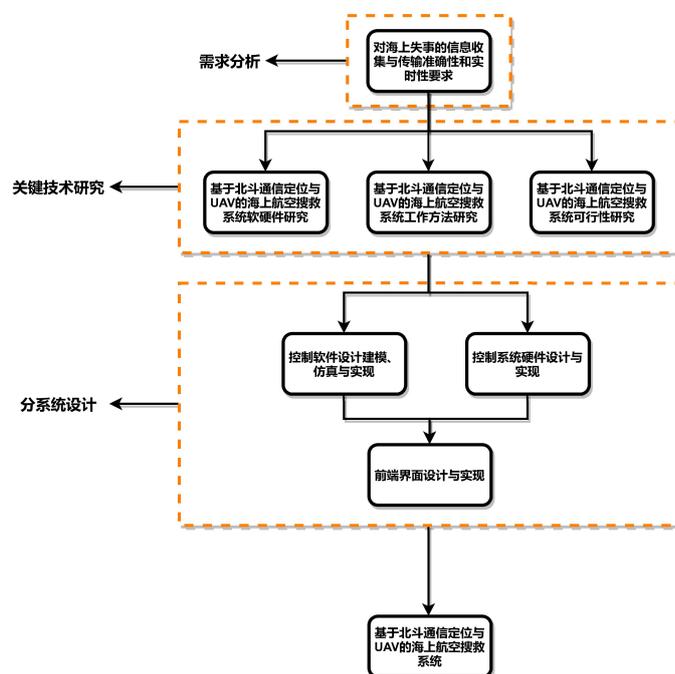


图 4 技术路线设计

## 3 系统模型与技术原理

### 3.1 海上失事飞机定位预测分析

#### 3.1.1 飞机动力学模型

以 MH370 为模拟案例，假设飞机失去信号后，发动机不再提供前进动力，飞机依靠惯性坠落。因此飞机存在一个无动力情况下的最大滑行距离（ $d$ ）：

$$d = \frac{h}{\tan \alpha} \quad \#(1)$$

式中： $h$  为飞机失去联系时所记录的飞行高度， $\alpha$  是飞机轨迹与飞机下降时的海平面间的夹角。

为节约资源，要求预测飞机坠落地点的面积尽量小。因此，加入飞机的转弯半径作为限制条件，缩减搜救区域。飞机在失联后可改变其飞行方向，但自身的拐弯半径将决定飞机的滑行距离。为计算转弯半径，由此假设飞机最初为完全水平运动，然后在飞机转弯  $90^\circ$  时对水平速度（单位：海里/秒）进行积分，以每秒  $1.5^\circ$  的速度，这需要 60 秒。

$$v_x(t) = v \times \cos(1.5t), r = \int_0^{60} v_x(t) dt \quad \#(2)$$

飞机以 500 节的速度飞行，最大滑翔距离为 40 海里，它的转弯半径是 5 海里。如果飞机不转弯，它最终可滑行 40 海里。但是，若其转弯  $90^\circ$ ，由于转弯的距离，它只能再行驶 32.15 海里。如果它转向  $180^\circ$ ，它只能再行驶 24.3 海里（图 5）。

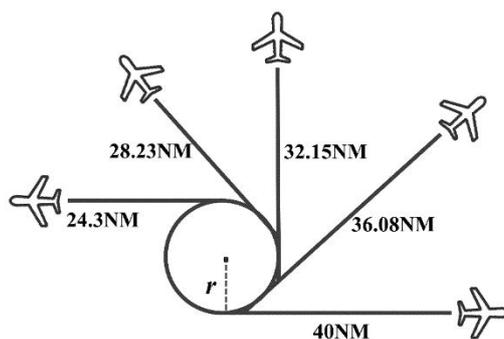


图5 飞机转弯角度与滑行距离关系

因此，飞机最终水平和垂直位置为：

$$x(\theta) = r \times \sin \theta + \cos \theta \times (d - \text{arclength}(\theta, r)) \quad \#(3)$$

$$y(\theta) = r \times (1 - \cos \theta) + \sin \theta \times (d - \text{arclength}(\theta, r)) \quad \#(4)$$

式中： $\theta$ 为飞机可能的转弯角度， $r$ 为飞机自身最大转弯半径， $d$ 为飞机最大滑行距离， $\text{arclength}(\theta, r)$ 为飞机转弯轮廓周长。

飞机拐弯方向分为两种：右转弯和左转弯，其坠毁区域如（图6）且失联时的经纬度为（102.53°E，4.71°N），每次角度相差15°，最终坠入海中。

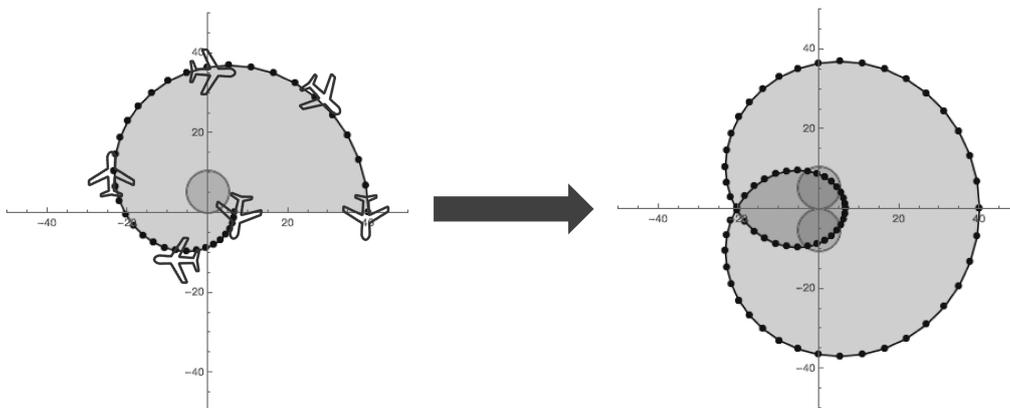


图6 飞机可能坠毁区域

### 3.1.2 蜂窝式中继器模型

为保障搜救区域内的信号完整性，基本实现信号全覆盖，以及为满足经济效益。根据 UAV 中继器射程范围为 20 公里，即该范围为半径为 20 公里的圆；需要充分利用每个 UAV 中继器的覆盖面积，减少相邻 UAV 中继器的重叠面积，则使用蜂窝式系统。考虑要求搜救区域信号全覆盖，且要控制信号覆盖成本，则要求（图7）阴影部分面积最小，则中继器发覆盖面积交线构成正六边形。

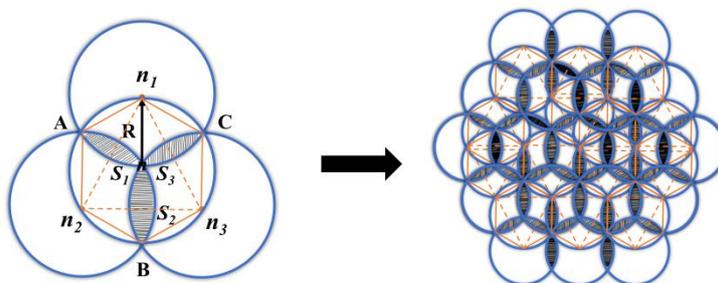


图7 蜂窝式系统

在蜂窝式系统的 UAV 中继器排列下，中继器数量为：

$$N_n = 3n^2 - 3n + 1 \quad \#(5)$$

### 3.1.3 分布式海面探测模型

假设只有一架 UAV 能够搜救失事飞机，其以 20m/s 的速度顺时针绕失事飞机预测坠毁区域一周进行探测并收集相应数据，将数据传输至附近的搜救船（基站）。由于海面洋流以及风力等因素，UAV 获取的海面信息会产生滞后的情况；为尽可能减少信息滞后，快速找到飞机残骸。因此，这里设计从起始绕飞机坠毁区域圆周的点开始飞行；与起始点的飞行圆弧长度越短，则信息更新延迟越多，按照厚度来表示信息更新的延时情况。由于 UAV 以恒定速度  $v$  飞行，则延迟更新<sup>[5]</sup>可表示为：

$$\rho(x) = \frac{(P-x)}{v} \quad \#(6)$$

式中： $P$  为 UAV 绕飞机坠毁区域圆周飞行路径长度， $v$  为 UAV 飞行速度。

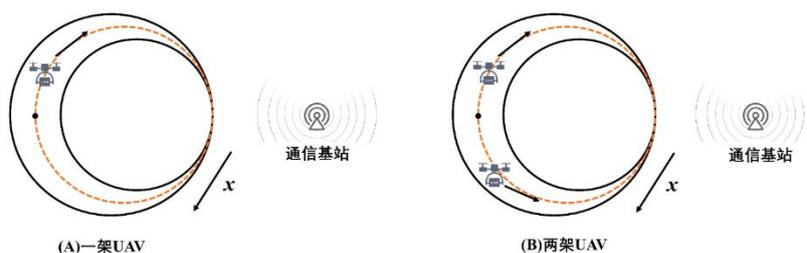


图 8 UAV 信息延时

一架 UAV 扫描飞机坠毁区域的总延迟更新为：

$$\int_0^P \rho(x) dx = \int_0^P \frac{(P-x)}{v} dx = \frac{P^2}{2V} \quad \#(7)$$

若存在两架 UAV 共同探测飞机坠毁区域，则有（图 8）的飞行轨迹以及相应的信息延迟为：

$$\rho(x) = \begin{cases} \frac{x}{v}, & 0 \leq x \leq \frac{P}{2} \\ \frac{(P-x)}{v}, & \frac{P}{2} \leq x \leq P \end{cases} \quad \#(8)$$

而两架 UAV 扫描飞机坠毁区域的总延时更新为：

$$\int_0^P \rho(x) dx = \int_0^{\frac{P}{2}} \frac{x}{v} dx + \int_{\frac{P}{2}}^P \frac{(P-x)}{v} dx = \frac{P^2}{V} \quad \#(9)$$

可发现两架 UAV 扫描飞机坠毁区域的总延时更新是一架 UAV 扫描飞机坠毁区域的总延迟更新的两倍。同时为维持这种最小延迟，保持搜救船信息更新频率最大化，UAV 将均匀分布在飞机坠毁区域的边缘圆周上，就有每个 UAV 被平均分配到飞机坠毁区域的圆弧长度为  $\frac{P}{N}$ （ $N$  为 UAV 的数量）。该状态为探测飞机坠毁区域稳定状态。

例如：起始有两架 UAV 对周长为  $2P$  飞机坠毁区域进行搜救，后又两架 UAV 前来支援，（图 9）为四架 UAV 飞行达到稳态的过程。

- (a) UAVS 1 和 2 从飞机坠毁区域某点开始反向绕飞机坠毁区域飞行；
- (b) UAVS 3 和 4 到达飞机坠毁区域，并开始相互反向绕飞机坠毁区域飞行；
- (c) UAVS 1 和 2 相遇时，飞行路程相等；

(d) UAVS 1 和 2 各自反向绕飞机坠毁区域飞行，假设 UAVS 1 从上个会合点到与 UAVS 3 会合的路程长度为  $0.25P$ ，则 UAVS 3 所飞行的路程长度为  $0.75P$ ；

(e) UAVS 1 和 UAVS 3 会合后各自反向飞行，UAVS 1 和 2 先返回到它们的上个会合点；

(f) UAVS 3 和 4 后返回到它们的上个会合点；

(g) 由于 UAVS 1 的路程长度小于 UAVS 3 的路程长度，则下次 UAVS 1 和 UAVS 3 会合前，UAVS 1 需在左半圆的中点盘旋，直到 UAVS 3 到达该中点。使得 UAVS 1 从上个会合点到与 UAVS 3 会合的路程长度为  $0.5P$ ，则 UAVS 3 从上个会合点到与 UAVS 1 会合的路程长度也为  $0.5P$ ；

(h) UAVS 1 从上个会合点到与 UAVS 2 会合的路程长度为  $0.5P$ ，则 UAVS 2 从上个会合点到与 UAVS 1 会合的路程长度也为  $0.5P$ ；

(i) 达到最小延迟配置的稳态。

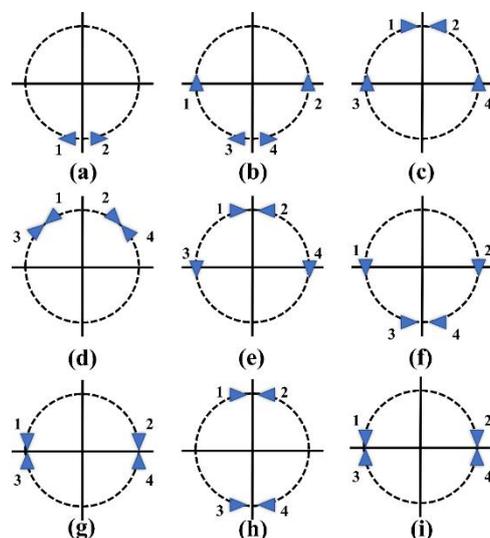


图 9 UAV 稳态模拟

### 3.2 BDS 卫星定位原理

根据北斗卫星的分布以及运行轨道情况，可知在地球上的任意地点都可同步观测到 4 颗及以上的卫星，而通过其中各个卫星播发的定位电文，就能精确视野范围内卫星的位置，从而得到定位点与卫星间的空间距离<sup>[6]</sup>。只需要利用三颗卫星就可以测算出定位点的空间位置  $(x,y,z)$  (图 10)。实际情况中，卫星时钟与接收器时钟存在偏差，因此需要将时钟误差也列为未知量；相应公式如下：

$$\begin{cases} (l_1 + \Delta t \times v)^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ (l_2 + \Delta t \times v)^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \\ (l_3 + \Delta t \times v)^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \\ (l_4 + \Delta t \times v)^2 = (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 \end{cases} \#(10)$$

式中： $l_i$ 为第  $i$  个卫星与接收器间的距离， $v$  为电磁波传播速度， $\Delta t$  为卫星时钟与接收器时钟间的误差， $(x_i, y_i, z_i)$  为北斗卫星电文译出该时刻所接收到的北斗卫星坐标。

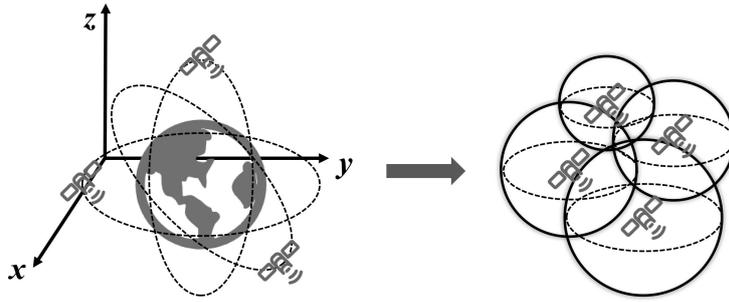


图 10 BDS 卫星定位原理

### 3.3 深海声呐探测原理

#### 3.3.1 主动声呐目标估计原理

主动声呐对于目标的方位估计一般是通过声呐基阵完成的，其作用原理为测量目标回波信号到达基阵各个阵元的声程差，利用声程差对目标进行探测<sup>[7]</sup>。

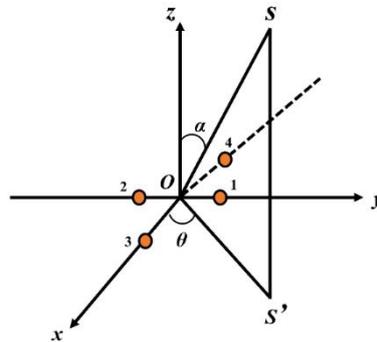


图 11 主动声呐侧向原理

如（图 11）所示，以参考阵元  $O$  作为原点建立三维直角坐标系，水下目标  $S$  投影在  $xoy$  平面为  $S'$ 。 $\alpha$  为  $\overline{OS}$  与  $z$  轴间的夹角，即为对水下目标定向时所需的俯仰角。 $\theta$  为  $\overline{OS'}$  与  $x$  轴的夹角，即为对目标定向所需的水平方位角。阵元 1 和阵元 2 距离为  $d$ ，同时阵元 3 与阵元 4 距离也为  $d$ 。

在平面波条件下，阵元 1 和 2、3 和 4 所接收信号的相位差分别为（ $c$  为水中声速）：

$$\phi_{12} = \frac{wd \sin \alpha \cos \theta}{c}, \quad \phi_{34} = \frac{wd \sin \alpha \sin \theta}{c} \#(11)$$

由上两式可得：

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\phi_{34}}{\phi_{12}}, \quad \phi_{12}^2 + \phi_{34}^2 = \frac{w^2 d^2}{c^2} \sin^2 \alpha \#(12)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left[ \frac{c \sqrt{\phi_{12}^2 + \phi_{34}^2}}{wd} \right], \quad \alpha \in [0^\circ, 90^\circ] \#(13)$$

根据上述公式便可完成对水下目标的方位估计，方位角为  $(\alpha, \theta)$ 。

通过脉冲法对目标距离进行估计，目标回波信号与发射信号间进行匹配滤波，以时延差来测量距离。探测信号从发出后经过水下目标发射到接收机的总时间为（ $R$  为水下目标实际距离）：

$$t = \frac{2R}{c}, R = \frac{1}{2}ct \quad \#(14)$$

### 3.3.2 被动声呐目标估计原理

如（图 12）原理①中 AB 为测向基阵的两等效阵元间距，O 为水下目标，且  $OA \gg d$ ，d 为 AB 间的长度，水中目标方位角为<sup>[8]</sup>：

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{t \times c}{d}\right) \quad \#(15)$$

式中：t 为 A 和 B 阵元接收信号的相互延时，c 为水中声速。

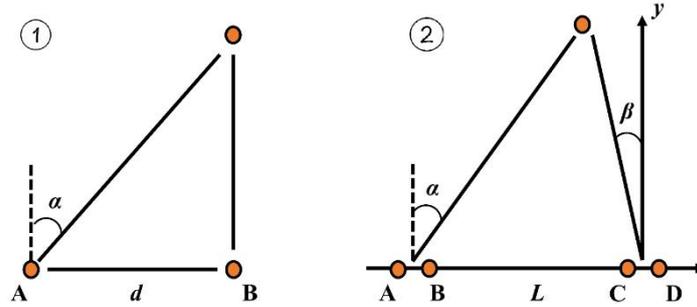


图 12 被动声呐原理

对两阵元信号进行 FFT 变换可得到  $X_1(K)$  和  $X_2(K)$ ：

$$X_1(K) = FFT(x_1(n)), X_2(K) = FFT(x_2(n)) \quad \#(16)$$

将  $X_1(K)$  和  $X_2(K)$  进行共轭相乘，得到互谱为：

$$P_{12}(K) = X_1(K)X_2^*(K) \quad \#(17)$$

对  $P_{12}(K)$  进行 IFFT 变换得  $p_{12}(n)$ ，找出  $p_{12}(n)$  相对的最大位置，求出 N，就可得出时延 t。

上图原理②中 AB 和 CD 为两测向基阵，其间距离为 L，将 CD 阵作为直角坐标系原点，两基阵间的连线作为 X 轴，水下目标方位计算为：

$$X = \frac{L \times \cos \alpha \times \sin \beta}{\sin(\alpha - \beta)}, Y = \frac{L \times \cos \alpha \times \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} \quad \#(18)$$

而水下目标与原点距离则为：

$$r = \frac{L \times \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} \quad \#(19)$$

因此假设位于极端情况下，黑匣子位于 4500m 的水下，声音每秒以 1200kHz 的频率发送 10 毫秒的脉冲和恒定声速为 1520 m/s 为参数进行主动和被动声呐仿真（图 13 和 14）。

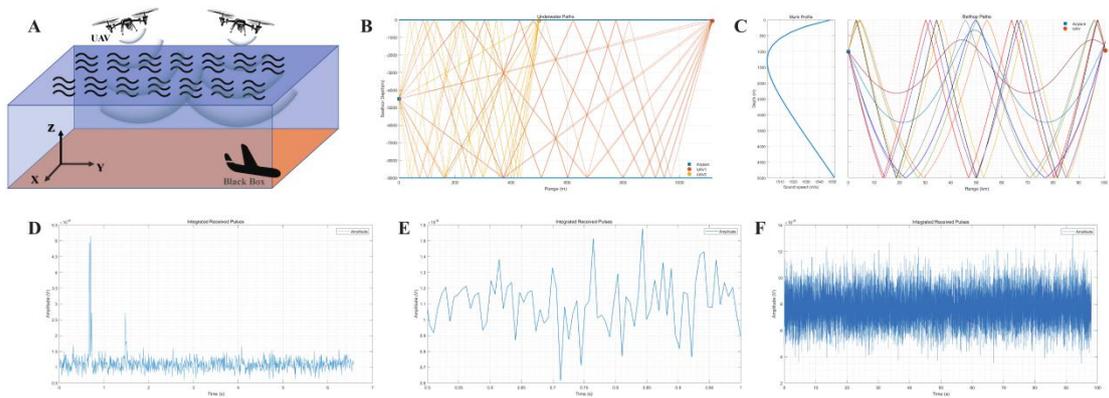


图 13 (A) 主动声呐模式 (B) 声呐系统目标路径 (C) 计算路径数值 (D) 距目标较近信号脉冲 (E) 距目标较远信号脉冲 (F) 发射脉冲的非相干积分

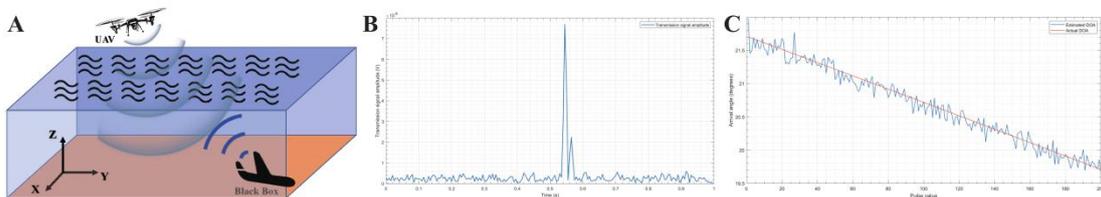


图 14 (A) 被动声呐模式 (B) 信号幅度变化 (C) 信号脉冲误差

## 4 系统硬件与机械设计方案

### 4.1 系统主要硬件及功能

BDS 与 UAV 的海上航空事故搜救系统的硬件部分是整个功能体系实现的基础。本设计方案中的主要硬件由 MSP430F149 单片机主控模块、深海声呐探测模块、BDS 通信定位模块、电源管理模块和数据传输模块组成。

#### 4.1.1 单片机主控模块

单片机主控模块为系统硬件模块的核心，其主要对收集的声呐、遥感和温度等数据的处理，对 BDS 通信定位模块的开启，以及对数据信息的传输。根据 UAV 能满足在复杂环境的海洋区域条件之下进行作业，因此本项目所设计的系统采用具有极低功耗的 MSP430F149 单片机主控模块<sup>[9]</sup>（图 15）。MSP430™系列超低功耗微控制器由多个设备组成，具有针对不同应用的不同外设集。该架构与五种低功耗模式相结合，在便携式测量应用中实现了延长电池寿命。该设备具有强大的 16 位 RISC CPU、16 位寄存器和恒定生成器，可实现最高的代码效率。数字控制振荡器可在不到 6 $\mu$ 秒的时间内从低功率模式唤醒到有源模式<sup>[10]</sup>。

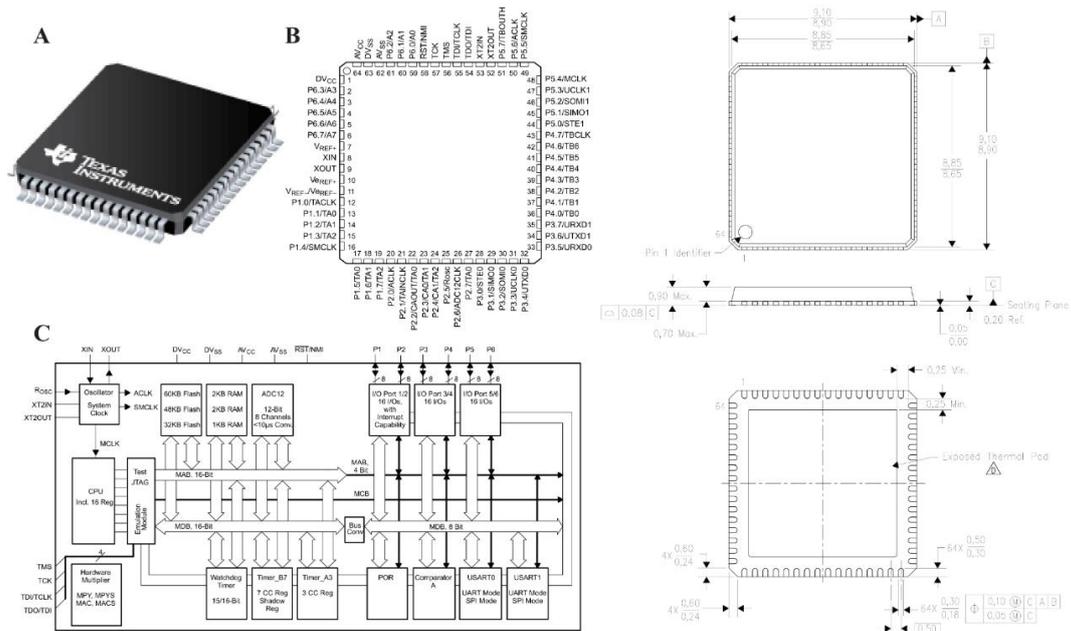


图 15 (A) MSP430F149 实体图 (B) MSP430F149 外部引脚与结构图 (C) MSP430F149 功能框架

#### 4.1.2 BDS 通信定位模块

BDS 通信定位模块是负责 UAV 与搜救船、搜救船与指挥中心之间的数据传输。本项目设计采用和芯星通公司研发的 UM4B0 新一代全系统多核高精度 SoC 芯片-Nebulas II (图 16)。该芯片支持 432 个超级通道和串口、1PPS、Event 等多种物理接口，内置宽带 ADC 和抗干扰单元，集成了两颗 600MHz 的高速处理器和专用高速浮点运算处理器，提供更强大的 BDS 卫星导航信号处理能力。采用最小尺寸全系统全频 RTK 模块，单颗 Nebulas II 基带芯片及单颗高精度射频芯片，具备业内最高集成度。UM4B0 具备优异的自适应抗干扰性能，厘米级高精度 RTK 定位，能保障 UAV 在复杂海洋环境下获得准确的定位结果<sup>[11]</sup>。

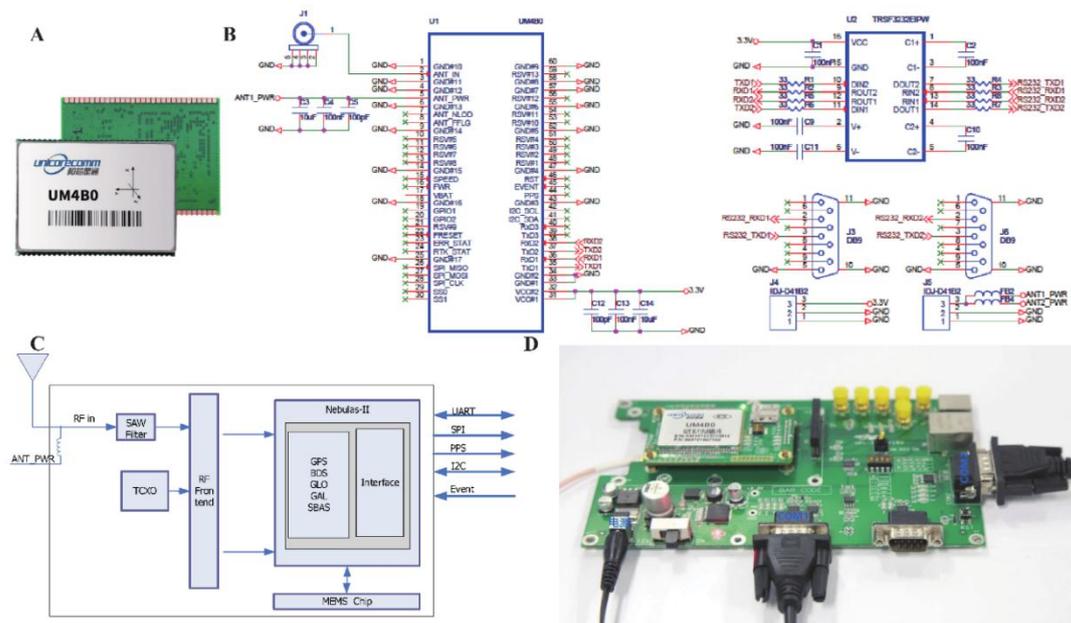


图 16 (A) UM4B0 实物图 (B) UM4B0 引脚及工作电路 (C) UM4B0 功能框架 (D) UM4B0 实际电路连接

### 4.1.2 深海声呐探测模块

深海声呐探测模块主要是利用声波原理针对水下目标进行探测。本项目设计采用 Deepvision AB 公司设计的 OSM2 是极为灵活且功能强大的双通道 OEM 声呐模块（图 17）。它具有 50kHz 至 1200kHz 的平均频率范围，利用水声转换与放大装置并使用 Deepvision 技术的数字声呐信号处理器 DSSP。这是一种高性能的并行处理单元，允许 OSM2 使用 Chirp 脉冲和脉冲压缩来捕获清晰的声呐图像，以此对失事飞机进行准确的探测与搜救<sup>[12]</sup>。

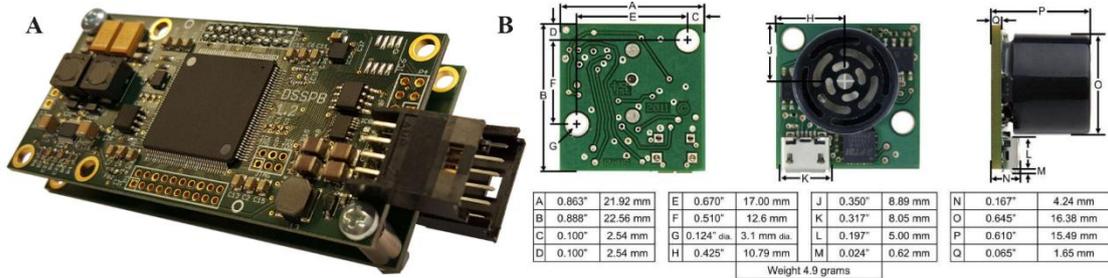


图 17 (A) OSM2 实物图 (B) 声呐探测结构

### 4.1.3 电源管理模块

硬件系统模块的工作运行为电源管理模块提供电源；为节省空间过多占用的问题，采取硬件系统与 UAV 电源模块一体化相连接。本设计采用大疆公司生产的 TB55-7600mAh-22.8V 智能飞行电池，其中的变压器采用 TPS5430，可将输出电压转换至 MSP430F149 的标准电压，转换效率高（图 18）。

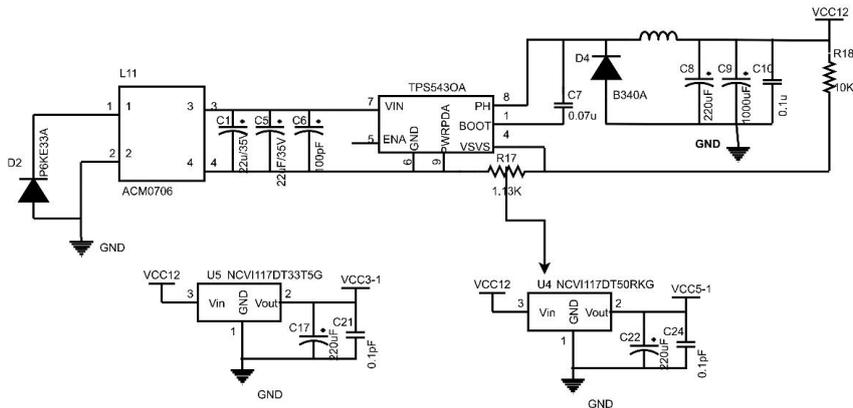


图 18 电源模块电路

### 4.1.4 数据传输模块

数据传输模块采用 SRMTECH 公司生产的 Semtech SX1261 LoRa 模块（图 19），其低于 GHz 的无线电收发器，是远程无线应用的理想选择。具有较长的电池寿命，而有源接收电流仅为 4.2 mA。使用高效的集成功率放大器，可传输高达+15dBm 的信号。1 MHz 偏移时具有 88 dB 的抗干扰能力，且具有超快速 AFC 的自动通道活动检测<sup>[13]</sup>。

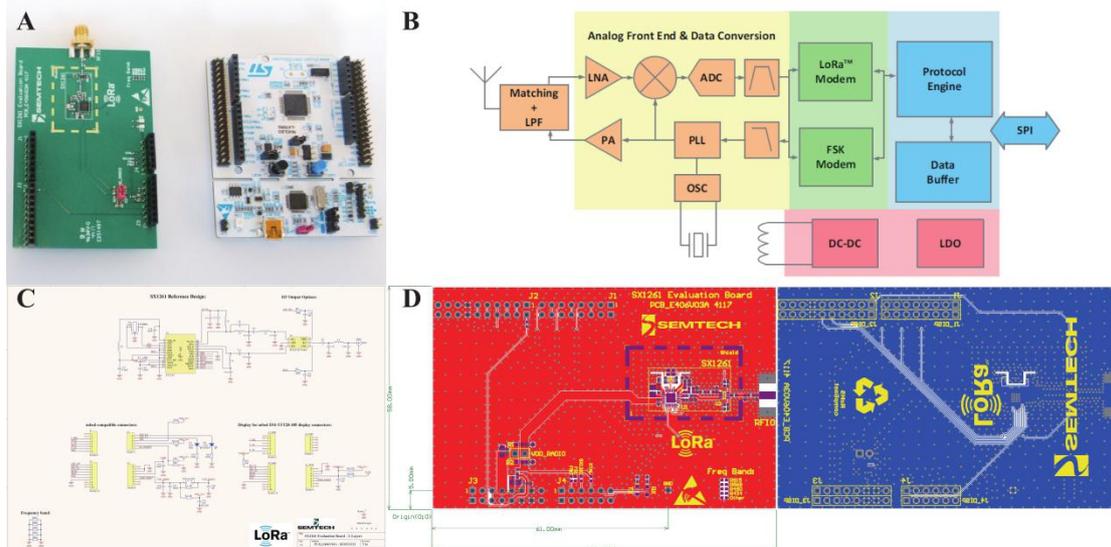


图 19 (A) SX1261 实物图 (B) SX1261 功能框架 (C) SX1261 电路设计 (D) SX1261 PCB 设计

## 4.2 机械结构设计及功能

### 4.2.1 特种 UAV 模型

UAV 是海上航空搜救系统的主要力量，本项目采用大疆公司生产的行业级 MATRICETM 200 v2（图 20）。它集成 DJI™ 先进的飞控系统、下视及前视视觉系统、红外感知系统和 FPV 摄像头，可对海面进行图像拍摄并可稳定悬停和飞行，具备自动返航、障碍物感知等先进飞行功能。机身结构在飞行过程中防护等级可达 IP43，可正常抵御海面不良环境的影响。快拆式起落架和已预装至机身的可折叠机臂方便收纳及运输，且有效缩短起飞前的准备时间。机身顶部和底部均配备夜航灯，便于在夜间飞行时识别飞行器。双电池系统提升飞行作业时长，空载时使用标配电池可达 38 分钟的工作时间。采用 DJI P1 集成全画幅图像传感器与三轴云台，支持多款定焦镜头，集合高性能、多用途航测负载<sup>[14]</sup>；可对海面进行实时图像监测。UAV 的详细参数如（表 1）所示。

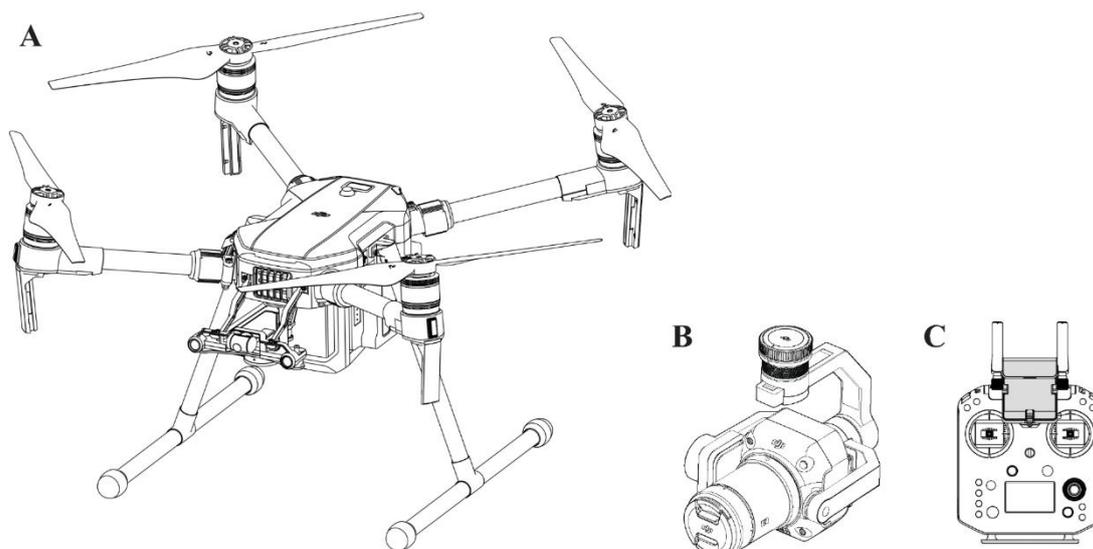


图 20 (A) UAV 3D 结构 (B) DJI P1 负载装置 (C) 遥控装置

表 1 UAV 技术参数

序号	项目	规格
1	尺寸	883×886×398 mm
2	对称电机轴距	643 mm
3	最大载重	1.45kg
4	重量	4.69kg
5	工作频率	2.4000-2.4835 GHz 5.725-5.850 GHz
6	悬停精度 (P-GPS)	垂直:±0.5 m 水平:±1.5 m
7	最大旋转角速度	俯仰轴:300° /s 航向轴:120° /s
8	最大上升速度	5 m/s
9	最大下降速度	3 m/s
10	最大水平飞行速度	S 模式/A 模式:81 km/h P 模式:61.2 km/h
11	最大起飞海拔高度	3000 m
12	最大可承受风速	12 m/s
13	工作环境温度	-20°C-50°C
14	IP 防护等级	IP43

## 5 系统软件设计

### 5.1 PC 端仿真应用设计

本系统软件设计过程（图 21）主要是通过对获取到的 INMARSAT 坐标和经纬度数据进行模拟，实现预测飞机可能的坠毁区域和 BDS 卫星实时仿真的效果，并具有地理信息可视化的功能。



图 21 仿真系统流程

系统开发环境主要有 Eclipse、JDK（Java Development Kit）、ArcGIS Runtime API for JAVA、Maven、MySQL、SQLlog、Python 等。Eclipse 是一种具有跨平台特性的自由集成开发环境（IDE），JDK（Java Development Kit）是针对 Java 开发人员所提供的软件开发工具包。ArcGIS Runtime API for JAVA 是基于 JavaFX 框架编写的跨平台桌面应用程序接口。Maven 是一个用于软件项目管理和理解的工具，基于项目对象模型，可从中央信息管理项目的构建，报告和文档。MySQL 是一种开源的关系型数据库管理系统，可通过使用数据库管理语言的结构化查询语言（SQL）进行数据库管理。SQLlog 是一种简洁、

易用的图形化管理 MySQL 数据库工具。其中 Eclipse 使用了可视化插件 Window Builder，是一款基于 Eclipse 平台的双向 Java 的 GUI 设计插件式的软件。

## 5.2 APP 端应用设计

Android 用户界面框架采用 MVC 架构模式（图 22），能够降低模块与模块之间的耦合性并且可维护性高，便于后期维护和再次开发。通过存储在云端的数据，获取飞机可能失事地点经纬度，得到飞机失事位置信息在 Android 端可视化展示定位。

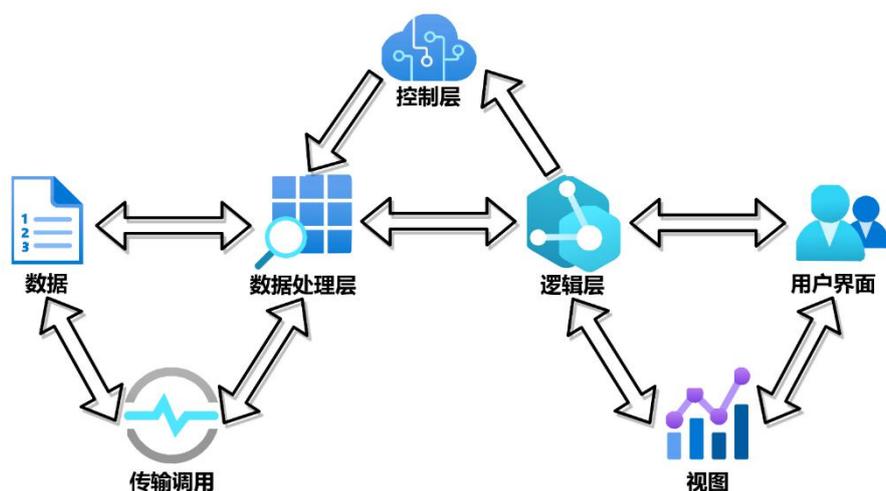


图 22 MVC 架构

APP 端采用了 Android Studio 编程环境，导入 Android 手机地图 SDK（Software Development Key）中的百度地图 Android SDK 进行改进开发。百度地图 Android SDK 是一套基于 Android 4.0 及以上版本设备的应用程序接口<sup>[15]</sup>，可通过调用地图 API 访问百度地图服务与数据，从而开发出功能性强大的适用于 Android 系统移动设备的地图定位应用<sup>[16]</sup>。APP 端应用实现了飞机位置信息可视化、UAV 轨迹追踪和图像监控的功能（图 23）。

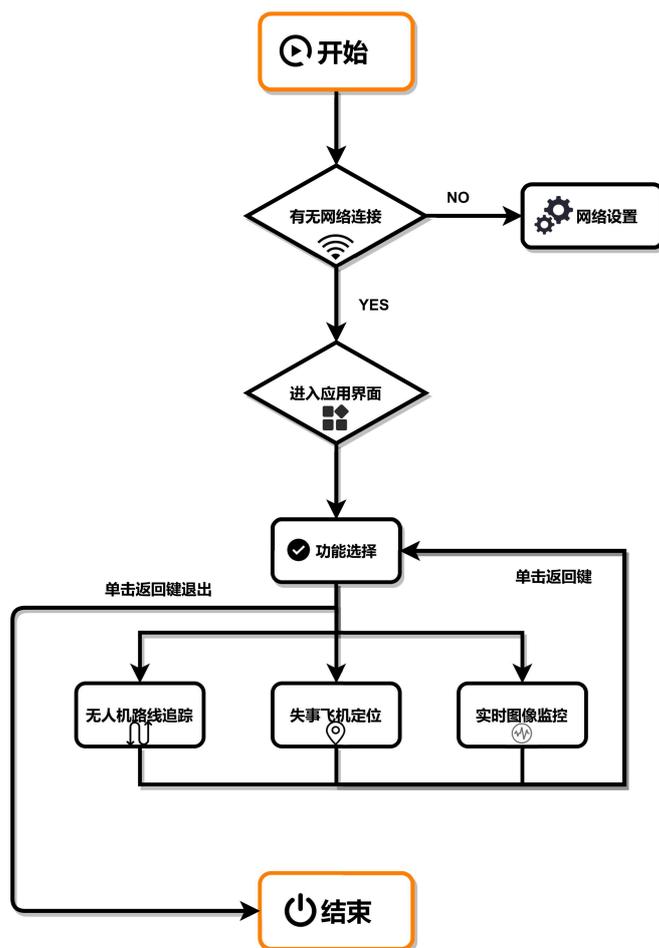


图 23 APP 程序流程

### 5.3 数据传输交换层

本项目系统的数据传输（图 24）主要为 3 个层面：终端、云端服务器和应用端。

终端的数据交换主要是通过 LoRa 通信模块及技术，其采用了 MAVLink 协议。MAVLink 协议遵循 LGPL 协议,是一种轻量级消息传递协议，用于 UAV 与控制中心进行通信。LoRa 技术是一种从线性调频扩频技术衍生而来的扩频调制技术，因其低成本、低功耗、易于部署、可扩大频率传播范围等特点，所以适用于需要远距离通信的物联网终端设备<sup>[17]</sup>。MAVLink 效率极高且非常可靠，MAVLink1 每个数据包只有 8 字节的开销，MAVLink2 仅有 14 个字节的开销。LoRa 通讯模块通过 MAVLink 协议将 UAV 发送的数据进行封装，实现 UAV 与控制中心之间的数据接受和交换。

云端使用 Cent-OS 7.0 为服务器系统，选择 PHP 为开发环境，选择 Apache Http Server 作为网页服务器<sup>[18]</sup>，使用 MySQL 关系型数据库存储数据，接收到来自 LoRa 通信传输模块的数据后，经过分析运算处理，存入对应的数据库，供应用端连接获取。

服务器端先声明一个 ServerSocket 对象并使其在某指定端口号监听，然后调用 Serversocket 的 accept()方法用于接收无人机终端的数据。应用端主要是 Android 端，同样采用基于 TCP/IP 协议的 Socket 通信<sup>[19]</sup>，通过创建 Socket 对象，指定服务器的 ip 地址和端口号，再创建 inputstream 对象读取数据文件，将获取到的云端数据用于可视化。Socket 的传输数据为字节级，传输数据可自

定义，数据量小，相应的移动端开发，手机费用低，且传输数据时间短，性能高。

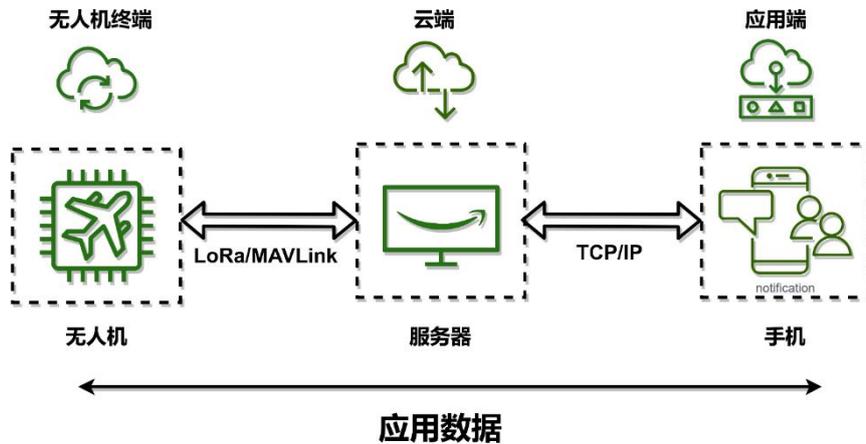


图 24 数据传输层次

## 6 系统实现与分析

### 6.1 PC 端功能实现

根据对 PC 端软件需求的设计，菜单栏的功能按键可分为文件、视图、分析、工具、连接和帮助 6 个功能。针对待处理的数据不仅可实现文件的新建、调整、保存等基础功能，还能进行函数运算、视图分析和编程等操作（图 25）。

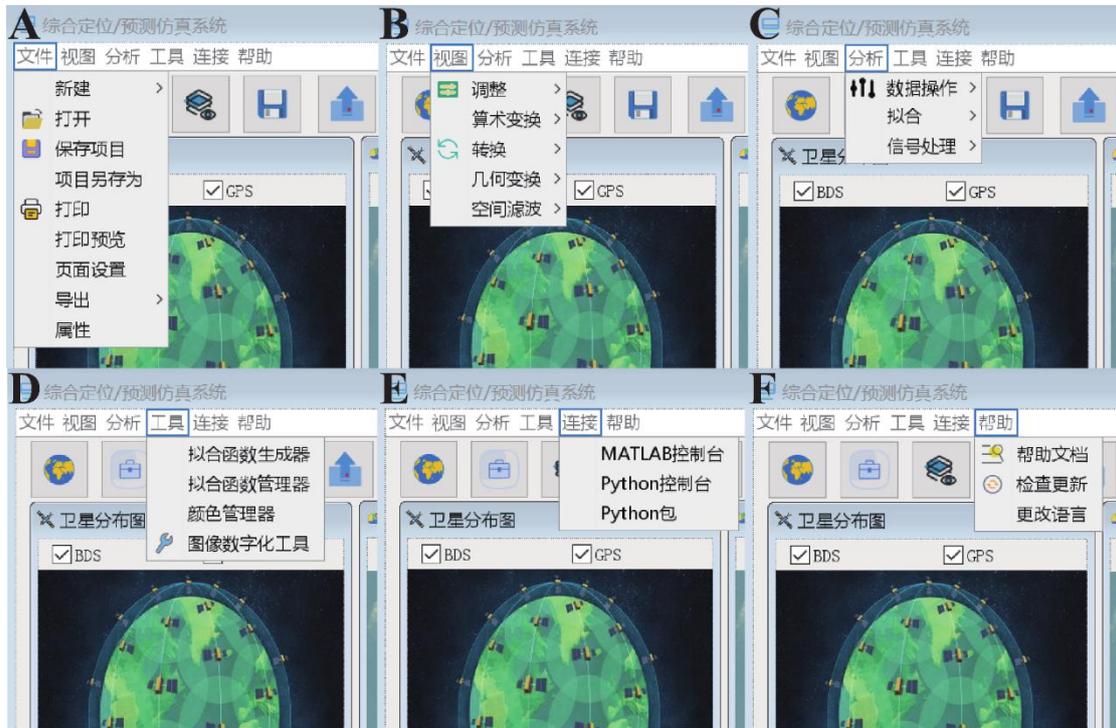


图 25 PC 端软件功能界面

根据数学建模为原理，将飞机失联前经纬度和各种参数等数据输入软件进行仿真预测，计算出失事飞机坠毁区域的经纬度数据（表 2）；再利用定位算法和可视化技术显示在界面中（图 26）；同时也可通过软件的交互控制台功能进行 MATLAB 或 Python 代码的编译（图 27），能得到同样的输出结果。

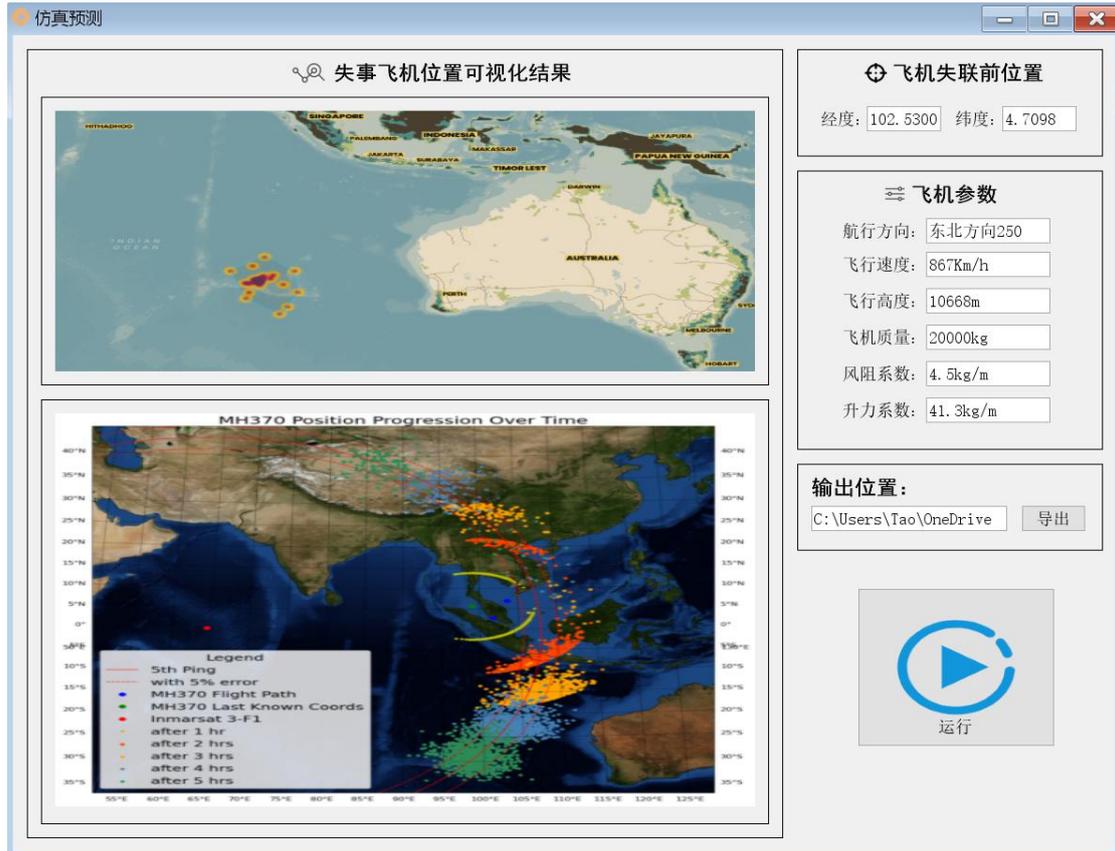


图 26 仿真预测运行界面

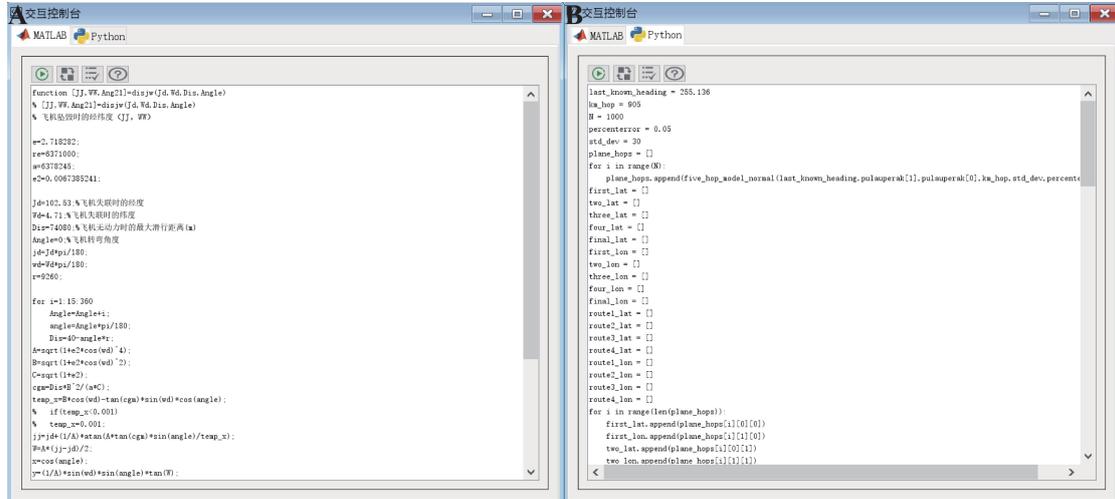


图 27 (A) MATLAB 控制台 (B) Python 控制台

表 2 飞机坠毁预测地点经纬度数据

序号	飞机可能坠毁地点经度	飞机可能坠毁地点纬度
1	94.5300	-29.7089
2	94.5229	-29.6866
3	94.4783	-29.6633
4	94.3938	-29.7195

5	94.4347	-29.9150
6	94.7913	-29.9222
7	94.8184	-29.3394
8	93.9525	-29.4756
9	94.6552	-30.5021
10	95.1015	-28.8900
11	93.4349	-30.2445
12	95.9568	-29.4042
13	92.8503	-30.0968
14	96.2843	-28.7310
15	93.3683	-31.7210
16	93.8031	-27.1587
17	97.4522	-30.3798
18	92.9925	-32.7195
19	91.1542	-28.0474
20	95.2529	-25.5792
21	98.8330	-28.0375
22	99.2205	-31.6831
23	97.9822	-34.0953
24	97.0246	-35.2624

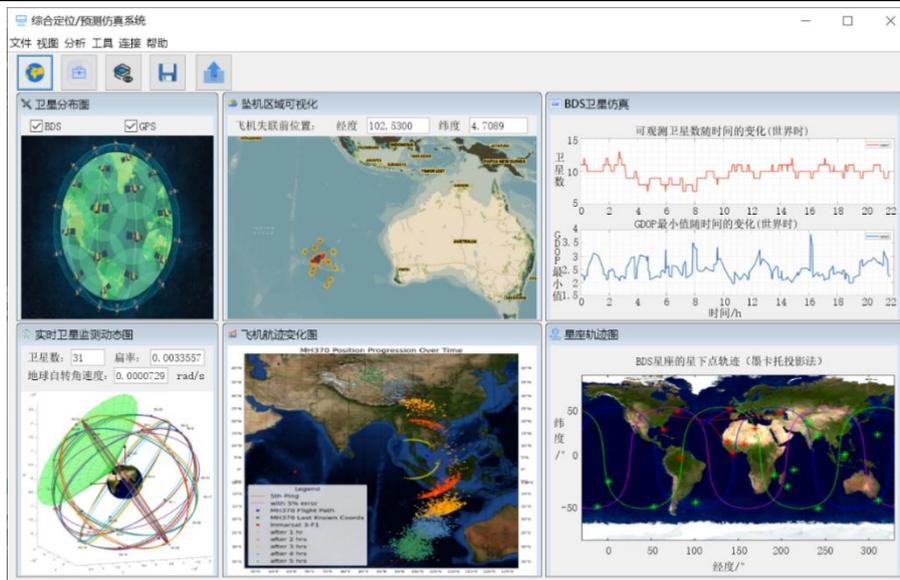


图 28 综合定位/预测仿真系统功能实现界面

根据综合定位/预测仿真系统结果界面（图 28）可分为卫星分布、坠机区域可视化、BDS 卫星仿真、BDS 实时动态监测、飞机航迹变化和星座轨迹，可看出预测的失事飞机 MH370 坠毁区域与官方公布的搜救区域基本一致（图 29）。

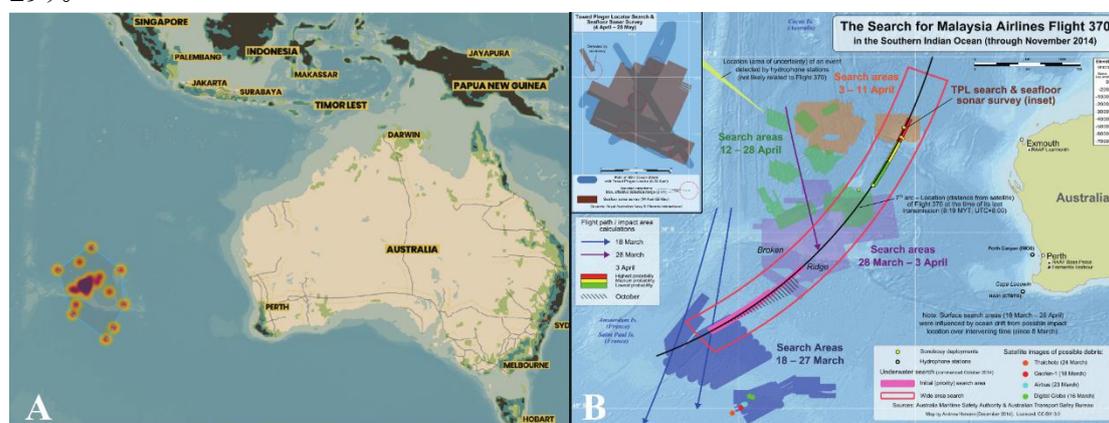


图 29 (A) 仿真系统预测结果 (B) 官方发现飞机残骸的搜救区域

### 6.2 Android 端功能实现

主界面（图 30）采用了生动简约的设计风格，可根据需求选择功能按钮。其中有 UAV 路线追踪、失事飞机定位和实时图像监控 3 个主要功能按钮，左上角还有菜单按钮，可选择查看日志、帮助等基础信息。用户通过点击不同的按键，可进入相应的功能界面。



图 30 APP 主界面

UAV 路线追踪和实时图像监控功能（图 31 和 32）可通过选择 UAV 序号，直观的从界面图像中查看 UAV 的轨迹路线，并通过实时监控图像功能查看 UAV 拍摄的现场图像，同时显示所在经纬度、连接状态等基本信息。



图 31 UAV 1 路线追踪界面



图 32 UAV 1 实时图像监控

失事飞机定位功能（图 33）通过获取飞机失事后的各项数据，将其位置的经纬度信息可视化，同时还可用于测量飞机落点距离及研究失事飞机位置的空间关系。



图 33 失事飞机预测定位界面

## 7 系统总结与展望

### 7.1 系统应用的创新性

(a) 全面考虑海面洋流流速以及风力等因素，将 UAV 搜救信息滞后问题考虑其中，减少信息延迟的同时，提高搜救的精确度。

---

(b) 采用主被动声呐结合探测的模式，提高对失事飞机搜救定位的精确度。

(c) 通过加入飞机的转弯半径作为搜救飞机坠落点的限制条件，最大化减少搜救区域范围，提高搜救的进程。

(d) 数据传输模块采用的 LoRa 技术改变了以往关于传输距离与功耗的折中考虑方式且成本低廉。

## 7.2 系统应用的改进性

(a) 未考虑到实际风力以及海面环境对于飞机搜救的影响。

(b) 未考虑到飞机下坠时的摩擦力等因素的影响。

(c) APP 定位功能会受到网络服务的影响，在无网络连接或网络信号较弱时，将导致其功能无法使用或影响定位精度。

## 7.3 系统应用前景

发生海上航空事故时，专业飞机和船只等常规搜救方式受环境和科技等条件限制，不能在短时间内获取有效信息，严重制约了对失事飞机的搜寻与救援。本项目为解决此类问题提出一种新的方案思路，且相比于传统搜救方式，能节省大量人员和物资的消耗成本，提高搜救的准确度及效率。本系统应用能为其他诸多搜救行业提供十分重要的参考价值。

## 7.4 总结

基于 BDS 与 UAV 的海上航空事故搜救系统是集聚了 BDS 通信定位、数学建模、仿真模拟和软硬开发等理论与实践技术。根据 BDS 对飞机最后的定位信息数据上传至指挥中心，利用建立的数学模型为原理，通过软件进行仿真预测，计算出飞机失事位置，缩小搜救范围。同时依靠 UAV 具有轻便易操控、不受时空限制和快速收集飞机坠毁区域数据的优势，可最大限度地降低海上搜救的风险，使搜救反应速度更加迅速准确；为后续搜救行动节省大量的时间以及提高海上综合搜救的能力。

---

## 参考文献

- [1] 蓝天翼. 让飞机“永不失联”——卫星在全球航空飞行跟踪中的应用[J]. 卫星应用, 2015 (12):41+44-49.
- [2] FlightAware-航班跟踪/航班状态/飞行跟踪. <https://zh.flightaware.com/>.
- [3] 邓世燕, 郭承军. GNSS 在海上救援中的应用研究[C]//第十一届中国卫星导航年会. 0.
- [4] 柴川页, 赵帆帆, 林立洲, 等. 基于北斗的海上失事飞机救援系统[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(06):37-40+96.
- [5] Meng Bo. Simulation and realization of UAV trajectory planning and mission analysis[D]. Sichuan: University of Electronic Science and Technology of China, 2010.
- [6] 于素君, 易昌华, 李春芬, 陈传庚. 北斗卫星导航系统定位原理及其应用综述[J]. 物探装备, 2020, 30(01):59-63.
- [7] 柴鹏. 主动声纳水下探测实时并行仿真系统[D]. 2016.
- [8] 王志刚. 被动声纳定位系统仿真技术研究[D]. 西北工业大学, 2006.
- [9] 陈忠. 北斗海上通信定位系统设计与研究[D]. 上海海洋大学, 2018.
- [10] MSP430F149 数据表, 产品信息和支持 TI. com <https://www.ti.com/product/MSP430F149>.
- [11] 和芯星通北斗导航芯片-北斗导航模块北斗高精度定位板卡国内外领先的芯片、OEM 板卡和产品解决方案提供商. <https://www.unicorecomm.com/products/detail/6>.
- [12] DeepVision | Sonar Systems. <https://deepvision.se/>.
- [13] Analog and Mixed-Signal Semiconductors | Semtech. <https://www.semtech.com/>.
- [14] DJI 大疆创新-官方网站. <https://www.dji.com/cn>.
- [15] 张鑫. 基于 Android 平台的手机地图软件设计与实现[D]. 北京邮电大学, 2015.
- [16] 曲桂婷. 基于 Android 移动式地理信息终端的开发与研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2012.
- [17] 张玉杰. 基于 LoRa 的无人机集群森林火灾防控系统设计与实现[D]. 杭州电子科技大学, 2020.
- [18] 周雄庆. 基于 SSL 的 Apache 服务器设计与实现[J]. 宁波职业技术学院学报. 2016, 20(06): 94-97.
- [19] 何诚, 邵乾飞, 袁浩, 等. 基于 Socket 实现 Android(java)与 C#的同步通信[J]. 无线互联科技. 2015(02): 15-16.

---

# 万物互联——智能遥控垃圾分类桶

作者：陈世龙、陈文龙、王雨溪、雷浩然

指导教师：范兴乐、徐立业

学校：北京科技大学

---

**【摘要】**：利用神经网络学习、图像识别、机械硬件结构设计与 APP 开发相结合设计出了一款智能分类垃圾桶，具备自动识别并将垃圾分类、满载报警等功能，并且使用者可通过 APP 随时召唤并查看垃圾桶收纳情况，真正实现垃圾分类智能化，减轻垃圾分类负担，符合是当今科技改善环境的时代主题。

**【关键词】**：图像识别，智能垃圾桶，神经网络学习，机械设计

**【Abstract】** Neural network learning, image recognition, mechanical hardware structure design combined with APP development to design an intelligent classification dustbin, with full automatic identification and classification, the garbage and alarm, and other functions, and the user can call and see trash can receive at any time from the APP, truly intelligent they sort the garbage, lighten the burden of garbage classification, Conformity is the contemporary theme of improving environment with science and technology.

**【Key words】** Image recognition, intelligent trash can, neural network learning, mechanical design

---

## 1 引言

我国是一个人口大国，相应的我国也是一个“垃圾大国”。我国每年产生的垃圾约为 1.5 亿吨，其中可二次利用的大约占 60%。但其中仍有大量的可回收垃圾没有得到资源化利用。在日常生活中，居民的生活垃圾大约有 60%是可以回收利用的。但对于大多数居民来说，日常产生的垃圾多数没有被分类，直接倒进就近的垃圾桶或者堆放到垃圾点，这种回收方式简单粗暴，带来了诸多环境问题。如果实行全面的垃圾分类，把所有能够二次利用的垃圾资源化，促进资源循环利用，不仅能够减少对环境的污染，保护生态环境，二次利用的垃圾对于工厂来说也是一种廉价的成本，带来可观的经济效益<sup>0</sup>。

垃圾分类不仅能有效节约原生资源，还能改善环境质量，带动绿色发展，引领绿色生活。通过分类，把有用物资，重新回收、利用、变废为宝。垃圾分类还是垃圾终端处理设施运转的基础，实施生活垃圾分类，可以有效改善城乡环境，促进资源回收利用。

我们国家目标到 2020 年，46 个重点城市基本建成生活垃圾分类处理系统。其他地级城市实现全方位公共机构生活垃圾分类，至少有 1 个街道基本建成生活垃圾分类示范片区。到 2022 年，各地级城市至少有 1 个区实现全方位生活垃圾分类，其他各区至少有 1 个街道基本建成生活垃圾分类示范片区。到 2025 年，全国地级及以上城市基本建成生活垃圾分类处理系统。

去年7月1日、今年5月1日，上海、北京相继开始实施垃圾强制分类，相信有望在不久的将来在全国范围内实施。因此垃圾分类已经与我们的生活密不可分。

然而当下许多家庭并没有垃圾分类意识，同时年轻一代的快节奏生活，让他们没有时间去进行垃圾分类，给人们的生活带来极大的不便。为响应节能减排的号召，减少垃圾不规范分类对环境的危害，许多有助于简化垃圾分类的产品应运而生。

目前市面上，对垃圾分类多限于人工进行不同垃圾的不同垃圾桶分类，而很少有一款集成式，自动分类的垃圾桶。垃圾分类，一般是指按一定规定或标准将垃圾分类储存、投放和搬运，从而转变成公共资源的一系列活动的总称。分类的目的是提高垃圾的资源价值和经济价值，力争物尽其用，减少垃圾处理量和处理设备的使用，降低处理成本，减少土地资源的消耗，具有社会、经济、生态等几方面的效益。同时，受限于家庭住址的面积大小，一般家庭无法在各个角落安装多个分类垃圾桶。因此，一种自主移动的智能垃圾分类桶有待研究。

针对上述种种问题，我们设计出了一款多功能的智能遥控垃圾分类桶，相信它的出现，将为垃圾分类工作带来方便。

## 2 国内外现状调查

作为低碳生活的大势所趋，垃圾分类已经成为了当下的热门词汇，而可以实现自动分类的智能垃圾桶无疑会成为未来大多数人的选择。所谓智能分类垃圾桶，即就是在图像识别垃圾种类的基础上，搭配以相应机械结构，将投入的垃圾分类储存。

现如今，市面上还没有商业化的自动分类垃圾桶，但相关文献却已有不少，其中不乏许多绝妙的创意与设计，这些都为我们提供了设计的灵感与思路。

机械结构方面，吉首大学物理与机电工程学院一种智能垃圾分类箱<sup>0</sup>的设计采用了包括滚道结构、图像识别与分类结构、间歇旋转结构、脚踏板杠杆结构、储物抽屉结构在内的五种结构。装置整体为长×宽×高=0.6 m×0.6 m×0.9 m的长方体，内部固定采用了铝型材与角件、螺栓、螺母等固定形成的框架。同时为保证密封性，装置的六面都有固定于铝型材框架的挡板，其顶壳为垃圾投入口，固定在框架上的底板为内部所有结构提供支撑作用。四周的挡板中，有一方作为垃圾桶的出口，挡板上有关页连接的活动门板，能自由地被推动。活动门板下方的脚踏板露出，踩踏时垃圾桶从上方的活动门板倾斜侧出。活动门板的上方设计了一个储物抽屉，能置放垃圾袋等物品。脚轮安装在框架底部，以便移动装置。

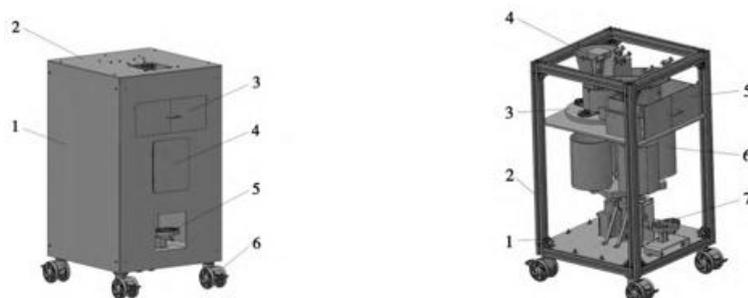


图 2-1 智能垃圾分类箱

---

图像方面,垃圾分类的图像识别需要高准确率,因而大多采用各式各样的卷积神经网络,将它们移植到嵌入式设备来完成识别,常使用的有传统的inception v3等。由于不同设备摄像头安装高度、不同使用环境下的光照强度等等都存在差异,同样的神经网络最终实现的效果也会有差异,最终的选择需要实际测试后才能确定,并常常需要根据模型来不断地改进与优化。目前,智能化垃圾处理设备的研究主要针对提升分类的准确性,研究方向集中在机器视觉、机器学习和图像处理算法。祝朝坤等<sup>0</sup>基于TensorFlow开发深度学习应用程序,指出Inception-v4在智能识别中准确度较高;吕程熙<sup>0</sup>比较了深度神经网络(DNN)和卷积神经网络(CNN),认为CNN在不同分类任务中具有更高的准确度;宁凯等<sup>0</sup>设计了基于视觉的智能扫地机器人,使对常见的可回收垃圾识别率提升到85%。在其他垃圾识别和分类方法研究方面,赵冬娥等<sup>0</sup>研究了高光谱成像在垃圾分类识别中的应用;黄惠玲等<sup>0</sup>基于颜色特征对建筑垃圾进行了识别;Cordes等<sup>0</sup>通过模式识别对于掩埋在地下的废物特征进行了分析与分类。这些识别方法各有局限,其对特定种类的垃圾识别是有效的,但是在多元化垃圾的分类任务中,不能准确地对所有种类垃圾进行分类。因此,研发一种能够集合多种识别方式优势的垃圾分类装置是必要的。

处理器方面,这些项目所使用的单片机价格与性能的跨度都很大,有走极简路线而使用传统高性价比单片机的,如STM32、C51等,也有走高端路线而使用树莓派等高成本单片机的,这既取决于项目中所使用的神经网络对算力的要求,也取决于项目中其他硬件外设的数量。

硬件外设方面,除过机械结构设计中必须的电机外,智能垃圾桶还常常在桶盖处配置有红外传感器,用于检测物体靠近,以实现自动开门;使用高端处理器的垃圾桶更是常常配备lcd屏,增强科技感的同时可以更好地融入使用环境,也能起到垃圾分类科普作用;部分项目更是为垃圾桶配置了用于外界通讯的模块,如蓝牙、WIFI等。

这些项目的目标对象不同、完成程度也不相同,绝大多数都处于模型搭建与理论实现阶段,少有成品出现,而少有的一些成品垃圾桶也有着体积过大、移动不便等缺点因而不断地迭代,以追求更高的空间利用率,目前还没有大规模投入使用的自动分类垃圾桶出现。

## 3 总体方案与结构

### 3.1 产品设计总思路

本产品的设计初衷旨在帮助大家简化垃圾分类的过程,使垃圾分类变得更为简单与高效。

为实现上述目的,本产品提供的技术方案为:一种智能遥控垃圾分类桶,包括壳体、设置于壳体底部的全向轮、与壳体顶部转动连接的投放门、设置于投放门下方的分类槽、设置于壳体内部的中心轴、自中心轴向壳体延伸的分隔板、与分隔板配合的垃圾桶以及与壳体转动连接的外壳门。

投放门上设有红外传感器、分类槽上部设有摄像头、中心轴由壳体底部延伸至壳体顶部、分类槽包含侧板与底板、侧板与中心轴连接、底板与中心轴转动连接、底板下方设有与中心轴连接的挡板,挡板底部设有第一舵机,第一舵机与中心轴齿轮连接,中心轴内设有第二舵机,第二舵机与底板转动连接;分隔板与中心轴转动连接,外壳门与壳体转动连接。

作为改进，分隔板自壳体底部延伸至挡板下方且分隔板至少设有四个；挡板挡住除分类槽下方的其他垃圾桶而挡板底部设有超声波物位传感器以及霍尔传感器；壳体顶部设有激光雷达；红外传感器采用 KGS-812 红外感应式光电传感器。

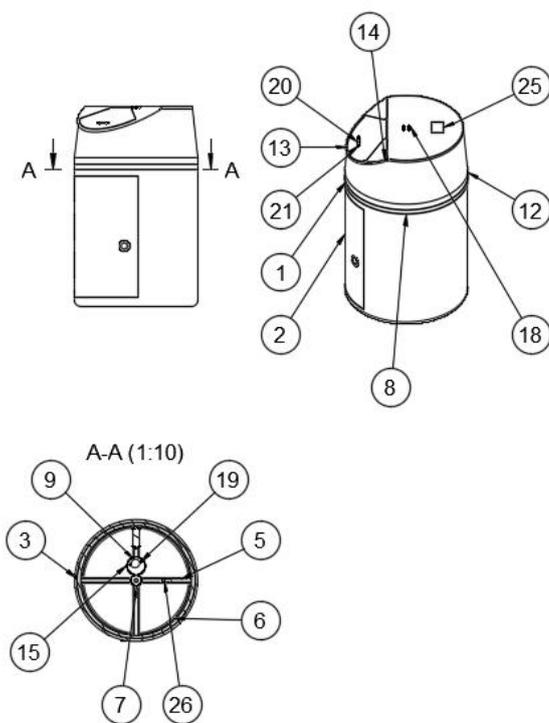


图 3-1 垃圾桶工程图



图 3-2 垃圾桶模型渲染图

根据设计，本产品工作流程可总结为：使用者通过手机 APP 控制垃圾分类桶的全向轮转动并到达指定区域，激光雷达对垃圾桶进行导航与监测障碍物，当人手拿着垃圾靠近投放门时，投放门上的红外传感器对其检测识别，投放门打开，使用者将垃圾放入分类槽，摄像头对垃圾拍照并进行分类分析，分析完毕后第一舵机转动带动分隔板转动，与分隔板配合的垃圾桶随之转动，霍尔传感器检测垃圾桶是否转动到位，转动完毕后第二电机带动底板转动，垃圾掉入对应类别的垃圾桶，超声波物位传感器检测垃圾桶内的垃圾是否装满，待垃圾桶装满后，打开外壳门将垃圾桶内的垃圾倒出。

综上，本产品功能可以总结为：可以通过安装的摄像头对投入的垃圾进行识别，在通过加装的舵机将不同种类的垃圾投入到不同的垃圾箱内，解决了传统垃圾桶无法自主进行垃圾分类的问题；利用自动循迹的全向轮为垃圾桶导航，可以召唤垃圾桶达到指定的地点，进行垃圾的投放，有效的解决了现有的居家垃圾桶都是固定放置在某一地点等待着人们去使用的问题；加有的电动桶盖，可以自动打开垃圾桶，方便人们进行投递垃圾；且增加有害垃圾收集盒，方便进行垃圾分类，对环境进行保护。

### 3.2 机械设计与组装

产品设计的第一步即是建立一个形象的仿真模型，延续先前的设计思路，我们列出了垃圾桶所用到的零件清单，如下图所示：

明细表				
序号	数量	零件代号	描述	材料
1	1	外壳下		钢
2	1	外壳下门		钢
3	1	外壳下门固定杆		钢
4	3	深沟球轴承		钢
5	1	转动器		钢
6	4	垃圾箱		钢
7	1	Spur Gear (35 teeth)	Spur Gear; Module: 1.000000; Num Teeth: 35; Pressure Angle: 20.000000; Backlash: 0.00 mm	钢
8	1	中部		钢
9	1	28BYJ-48步进电机		钢
10	1	投放口门		钢
11	1	投放口		钢
12	1	外壳顶		钢
13	1	投放开合门		钢
14	1	投放开合门固定杆		钢
15	1	Spur Gear (60 teeth)	Spur Gear; Module: 1.000000; Num Teeth: 60; Pressure Angle: 20.000000; Backlash: 0.00 mm	钢

图 3-3 零件清单（上）

16	1	MOONS步进电机		钢
17	1	步进电机法兰盘		钢
18	4	92000A120		钢
19	2	92000A228		钢
20	1	KGS-812人体感应传感器		钢
21	2	91801A740		钢
22	1	User Library-LI-OV5640-MIPI-AF		钢
23	1	LED补光灯		钢
24	1	HL-20N1霍尔传感器		钢
25	1	超声波物位传感器		钢
26	1	思岚激光雷达		钢
27	3	MG513P30直流减速电机		钢
28	3	58mm直径的全向轮		钢
29	1	底盘		钢
30	12	92000A220		钢

图 3-4 零件清单（下）

按照清单将所需零件建模并组装，软件选用集建模、渲染、仿真等强大功能与一身的 Autodesk Fusion 360。零件图与组装好的垃圾桶如下所示：



图 3-5 各类零件（左）与组装图（右）

### 3.3 软硬件制作

#### 3.3.1 电源板制作

机械设计完成后，需要考虑各部分配件的供电与控制。为此，我们使用 Altium Designer 制作了一个电源板，方便各个模块连接，电路板及其的原理图如下所示：

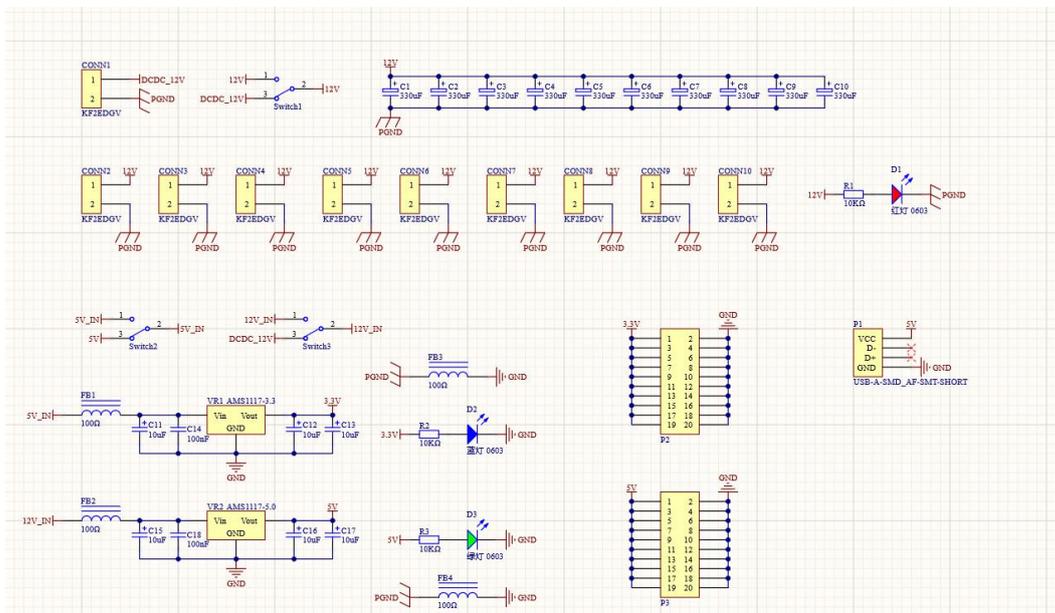


图 3-6 PCB 原理图

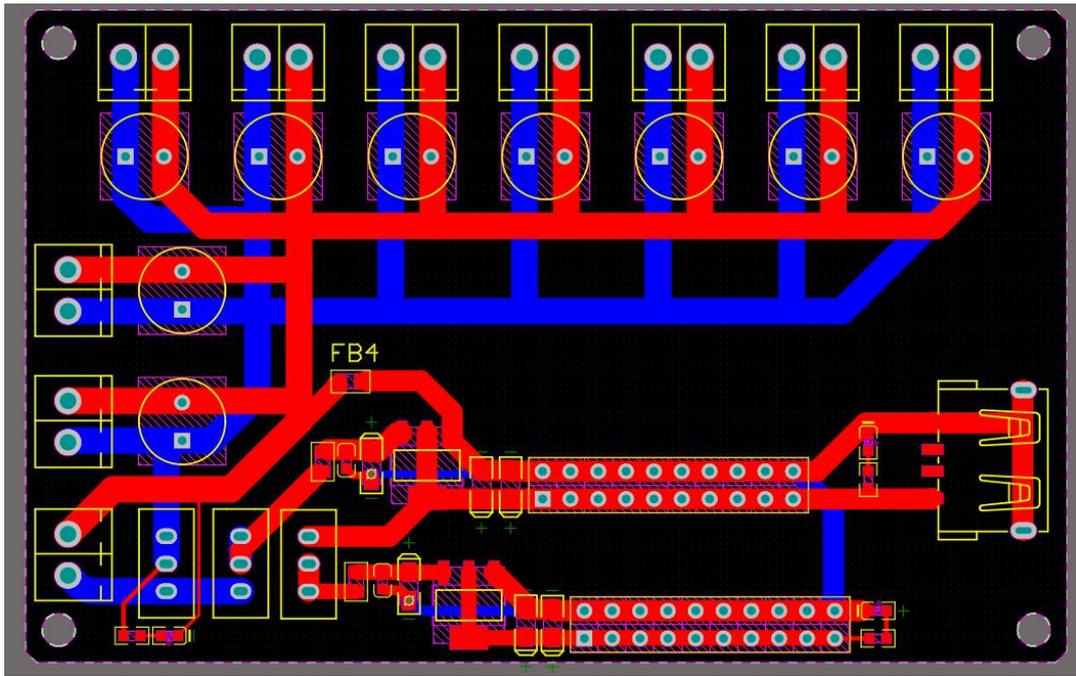


图 3-7 PCB 板

### 3.3.2 蓝牙模块与 APP

产品设计中的 APP 既需要从垃圾桶处获得分类信息，还要将用户的操作信息传递给垃圾桶，其设计过程与界面展示如下图：

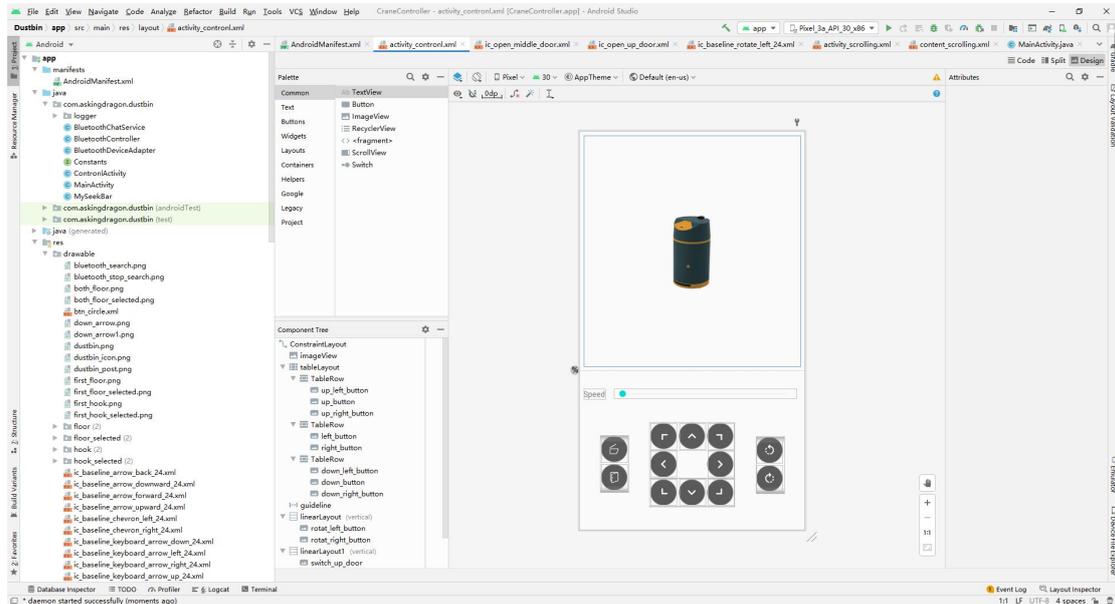


图 3-8 APP 的设计

APP 与垃圾桶间的通信方式为蓝牙通信，通信协议的建立过程如下图：

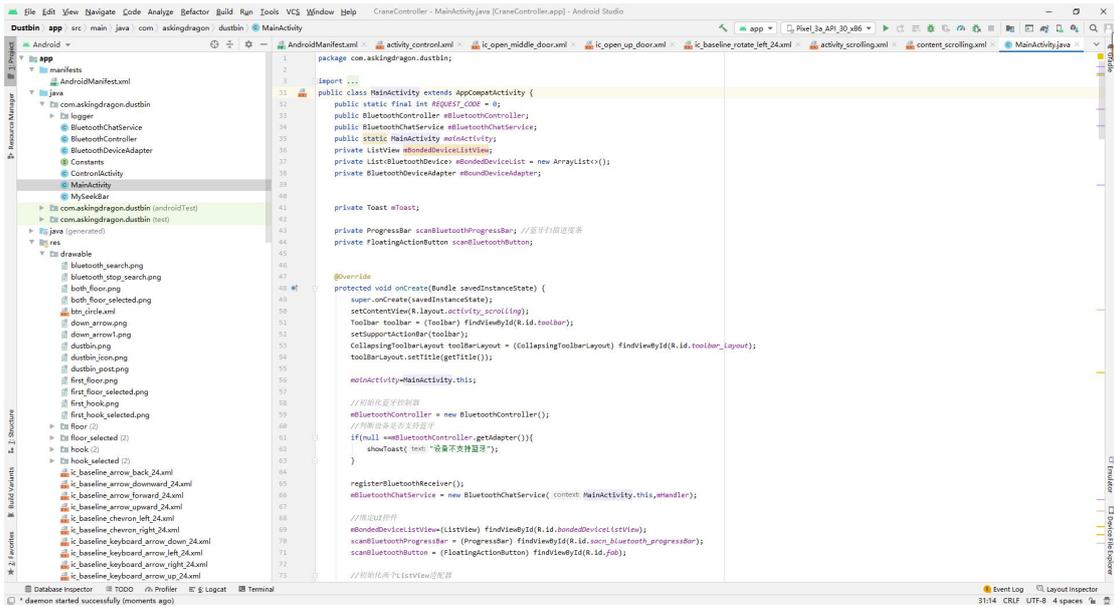


图 3-9 蓝牙通信协议的建立

下图所示为完成后 APP 的蓝牙连接界面与控制界面：

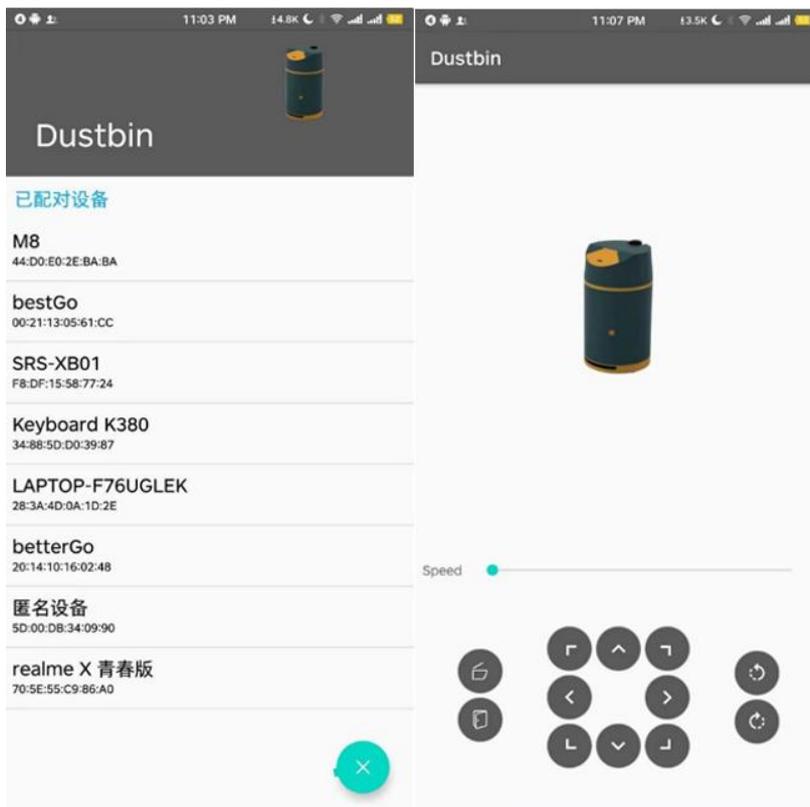


图 3-10 APP 界面 蓝牙连接（左）与移动控制（右）

### 3.4 分类模型训练

垃圾分类对图像识别的要求很高，而识别准确率高的关键就在于训练出的模型质量高，为了训练出高质量的模型，我们使用 LabelImg 软件对训练集的图片进行分类框选与保存，训练集的制作过程如下所示：

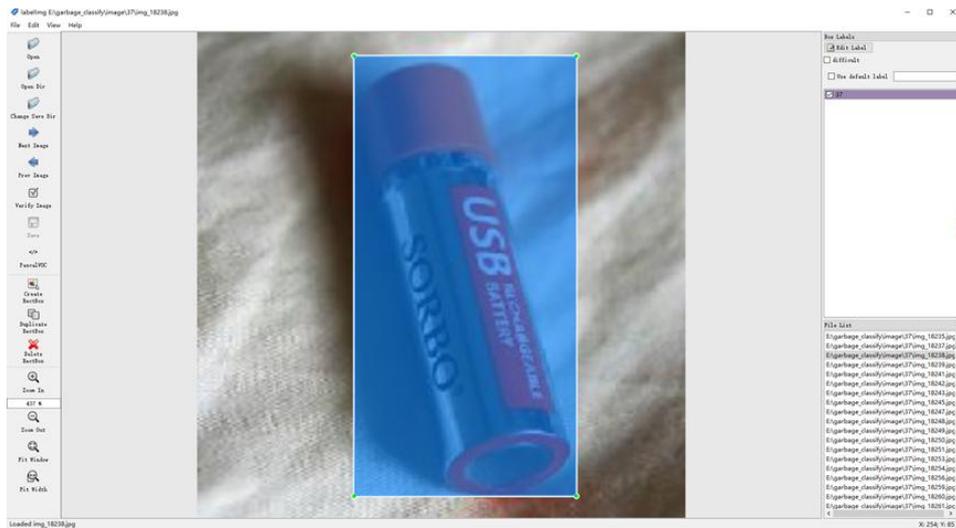


图 3-11 训练集制作

名称	修改日期	类型	大小
battery	2020/12/15 23:05	文件夹	
can	2020/12/15 23:07	文件夹	
eggshell	2020/12/15 23:07	文件夹	
evalImageSet	2020/12/19 16:16	文件夹	
fruit_peel	2020/12/15 23:07	文件夹	
ointment	2020/12/15 23:08	文件夹	
plastic_bottle	2020/12/15 23:07	文件夹	
snipe	2020/12/15 23:06	文件夹	
toothpick	2020/12/15 23:05	文件夹	
waiting	2020/12/17 16:16	文件夹	

图 3-12 完成分类的训练集

神经网络框架选择快速且高准确率的 yolov3，导入制作好的训练集，训练过程如下图：

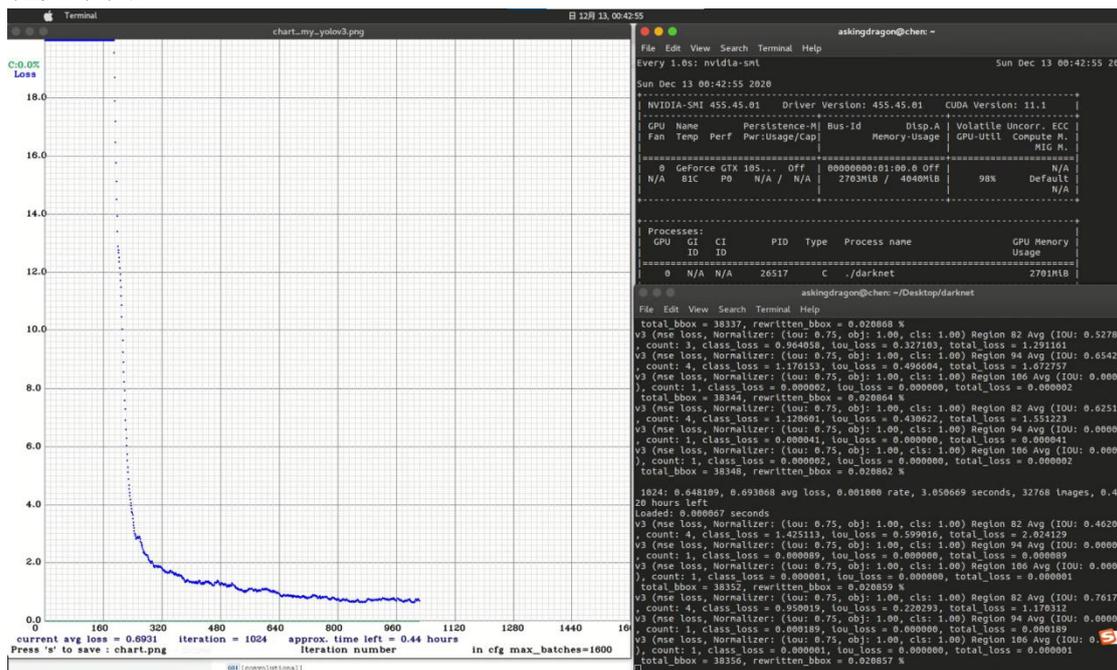


图 3-13 训练过程与损失函数

---

可以从图中看出此次模型训练损失函数较低，这意味着模型的质量较高，为精确识别提供了保障。

### 3.5 实际应用

针对本产品所具有的各类功能，可以控制其体积大小而将其应用于不同场合。体积较小的可居家使用，主人只需将垃圾倒入其中，产品可自主将垃圾分类，主人只需在其装满垃圾发出提示后更换垃圾袋即可，节约了时间并且简化了垃圾分类的过程；体积较大的则可应用于商场、机场等人流量较大的公共场所，人们在逛街或者出行的时候难免会产生各种垃圾，而人们只需将垃圾投入智能分类垃圾桶中而不需要考虑垃圾种类，从而提高人们的出行体验，下图为投入公共场合使用的垃圾桶。



图 3-14 使用中的垃圾桶

不仅如此，移动端 APP 和可移动结构的引入为垃圾桶提供了新的可能，这意味着它不仅可以跟随指令而轻易地移动到任何所需要的地方，随时随地方便我们的生活；还可以提供垃圾的分类信息，让人们在日常使用中深化垃圾分类的概念，这也为低龄使用者提供了一条简单方便的学习垃圾分类的通道。

### 3.6 关键技术

#### 3.6.1 神经网络学习

依托 yolo v3 对象检测算法进行模型训练，通过对大量的不同种类的垃圾的识别进行训练使得产品能够精确的识别出不同种类的垃圾并将识别结果传输至下一阶段，以下为模型训练的流程圖：

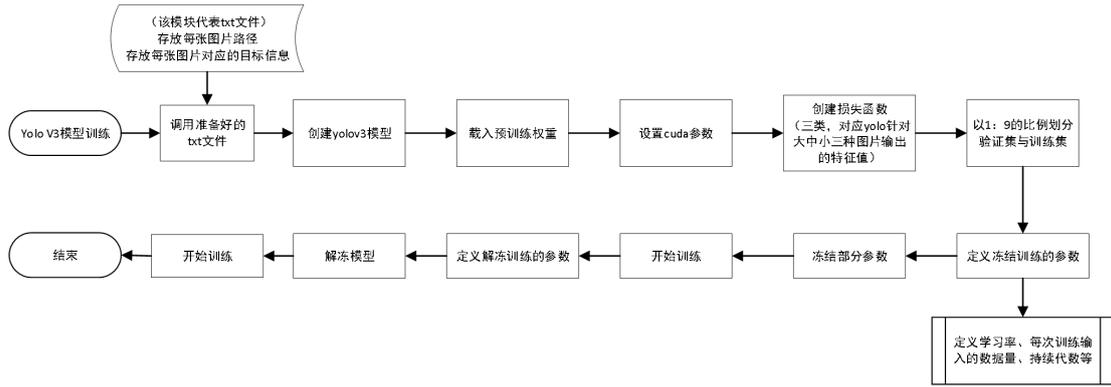


图 3-15 yoloV3 模型训练总流程

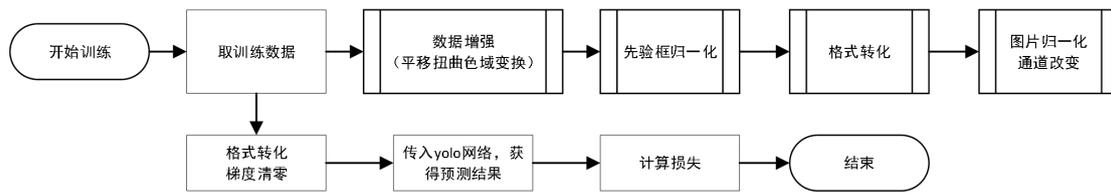


图 3-16 “开始训练”子流程

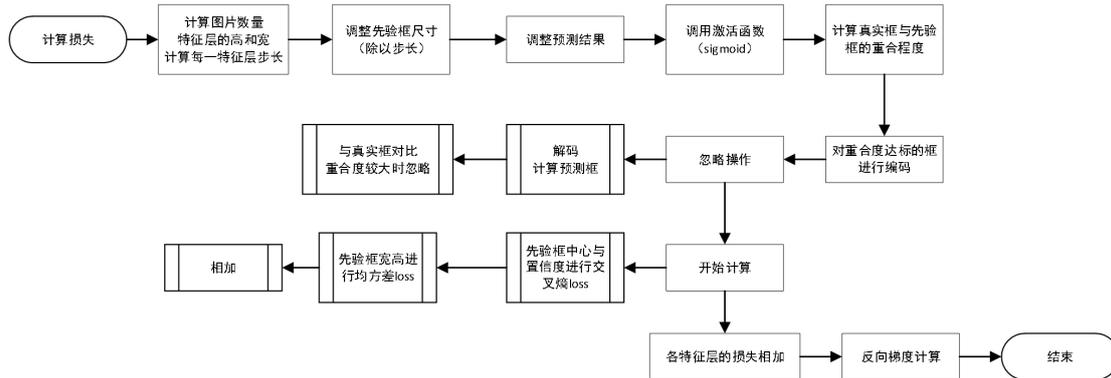


图 3-17 “计算损失”子流程

### 3.7 图像识别与机械结构配合实现垃圾分类

投放口挡板打开后，垃圾落入图像识别区。位于图像识别区上方的 LED 补光灯打开，然后摄像头采集清晰的图片并把图片信息通过 DVP 接口传送给主控，主控通过神经网络加速器 KPU 加载预先在电脑上训练好的垃圾分类模型，再将图像进行降噪处理够传入 KPU，KPU 计算完毕后输出分类结果，再分类结果中可置信度最高的一类则是投入垃圾的可能所属类别，根据判断的类别控制机械结构将其投入到对应种类垃圾箱中。逻辑流程图如下：

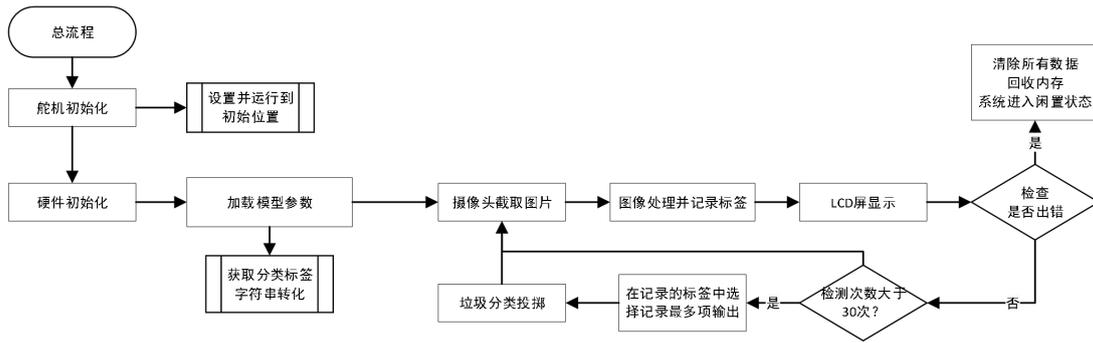


图 3-18 分类平台总流程

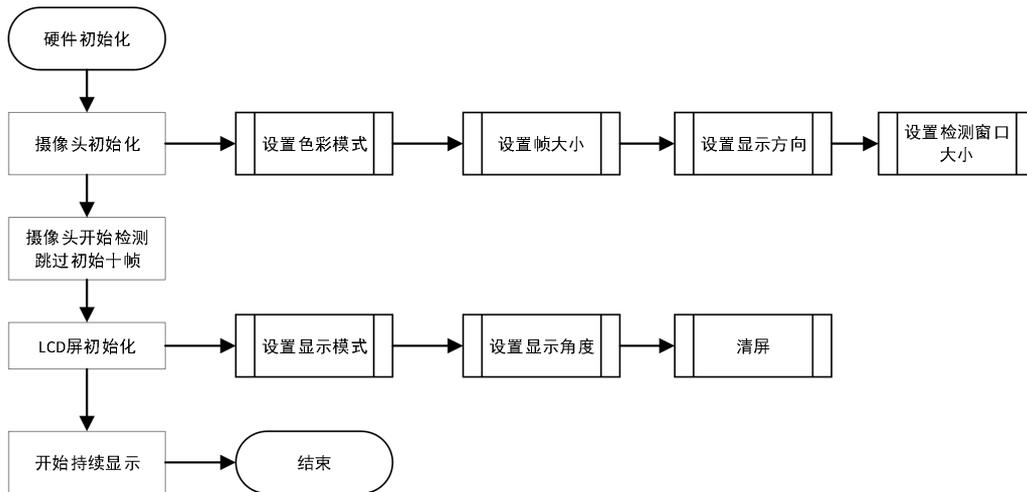


图 3-19 硬件初始化子流程

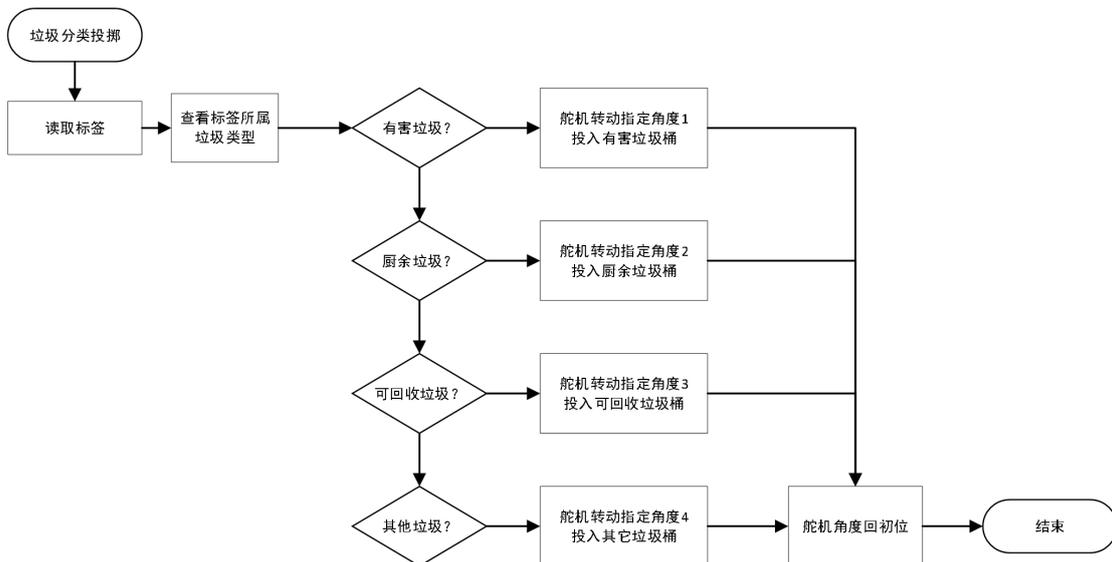


图 3-20 分类处理子流程

### 3.8 手机 APP 制作

使用 APP inventor 编写与产品配套的手机 APP 采用蓝牙功能与产品相连接，使用者能通过手机 APP 控制产品移动、查看各类别垃圾投放情况并接收到产品更换垃圾袋等消息提醒。



图 3-21 测试 APP

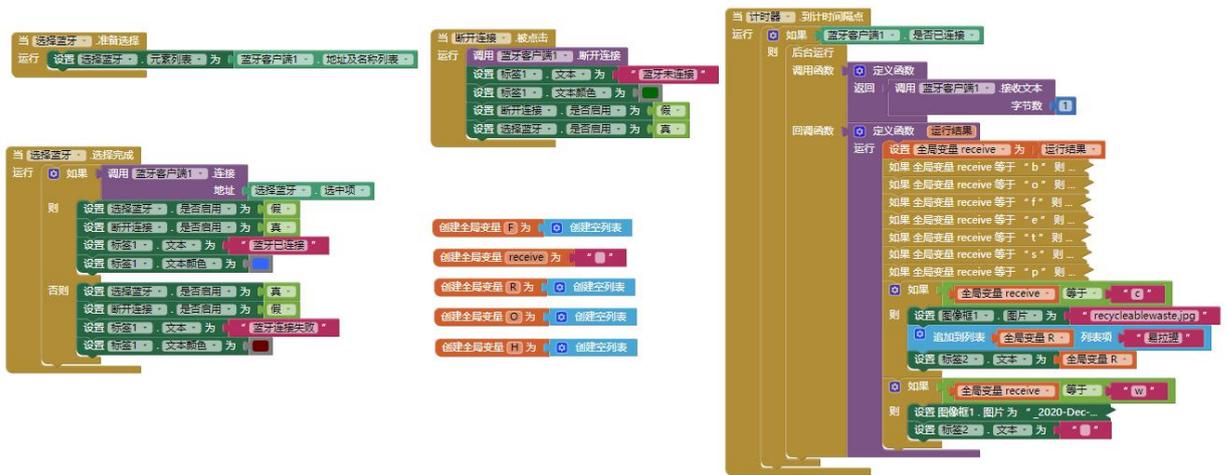


图 3-22 APP 图形代码

### 3.9 二自由度简易分类云台硬件设计

如果要完整完成方案中的智能垃圾桶的制造，还需要大量成本，并且在短期内难以完成，因此我们制作了一个按照相同算法但结构更加易于制作的二自由度简易分类云台。其基于主控板 K210 和两个舵机，依靠与方案中相同的摄像头来采集图像，同时也用到了蓝牙模块 HC-05 进行和手机 APP 之间的通讯。

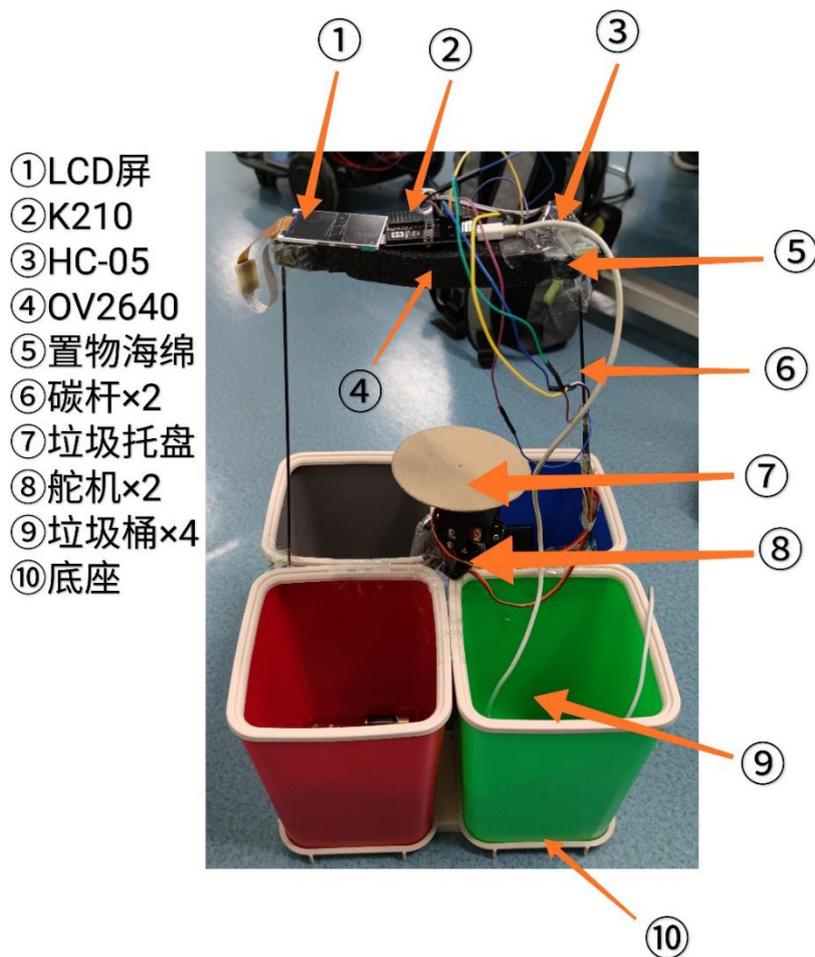


图 3-23 垃圾桶结构设计

其工作流程是：当垃圾放置于垃圾托盘上时，摄像头采集清晰的图片并把图片信息通过 DVP 接口传送给 K210，K210 通过神经网络加速器 KPU 加载预先在电脑上训练好的垃圾分类模型，再将图像进行降噪处理够传入 KPU，KPU 计算完毕后输出分类结果，再分类结果中可信度最高的一类则是投入垃圾的可能所属类别。对于该结果，K210 通过 UART 发送到蓝牙模块，再经过蓝牙发送到手机 APP 并把垃圾分类信息信息显示在 LCD 上，并控制两个舵机转动将垃圾倒入相应的垃圾桶中，然后再控制舵机使垃圾托盘回到初位，准备进行下一次的垃圾分类。

### 3.10 创新点

#### 3.10.1 技术方面

目前国内外都有许多针对于智能分类垃圾桶的研究，虽然采用不同的图像识别方法以及不同的机械结构设计，但最终都能实现垃圾桶自主的将垃圾分类，简化了垃圾分类的过程。本产品具备智能垃圾分类功能的同时又区别于其他产品的创新点在于：

第一：

手机 APP 的开发使得该产品更加人性化，使用者能通过手机 APP 随时了解垃圾桶内各类垃圾的收纳情况。同时，在某类别垃圾装满时使用者能够在手机 APP 中收到提醒，及时更换垃圾袋。

第二：

---

可自主移动，通过自动循迹的全向轮为垃圾桶导航，使用者能够通过手机 APP 自由操纵垃圾桶移动，召唤垃圾桶达到指定的地点，进行垃圾的投放，简化了投放垃圾过程的同时也给使用者带来乐趣。

### **3.10.2 将节能减排与智能化相结合，用科技改善环境**

许多家庭并没有垃圾分类意识，同时年轻一代的快节奏生活，让他们没有时间去进行垃圾分类，给人们的生活带来极大的不便，为响应节能减排的号召，减少垃圾不规范分类对环境的危害。本方案针对此社会问题所设计出的智能遥控垃圾分类桶，通过自动垃圾分类进而有效的解决了垃圾分类问题。此外，该智能遥控垃圾分类桶本方案有效的解决了现有的居家垃圾桶都是固定放置在某一地点等待着人们去使用的问题，本方案利用自动循迹小车作为载体，可以召唤小车达到指定的地点，进行垃圾的投放，加有电动桶盖，可以自动打开垃圾桶，方便人们进行投递垃圾。且增加有害垃圾收集盒，方便进行垃圾分类，对环境进行保护。

### **3.10.3 与当前时代主题、国家政策、社会需求十分贴合，有较强的社会价值和意义**

垃圾分类能有效节约原生资源，改善环境质量，带动绿色发展，引领绿色生活。通过分类，把有用物资，重新回收、利用、变废为宝。垃圾分类还是垃圾终端处理设施运转的基础，实施生活垃圾分类，可以有效改善城乡环境，促进资源回收利用。垃圾分类的目的是提高垃圾的资源价值和经济价值，力争物尽其用，减少垃圾处理量和处理设备的使用，降低处理成本，减少土地资源的消耗，具有社会、经济、生态等几方面的效益。本方案所以设计的智能遥控垃圾分类桶能够在极大的程度上帮助人们进行正确有效的垃圾分类。随着该智能遥控垃圾分类桶的普遍使用，进而会实现垃圾分类的普遍化、正确化、高效化。如此一来，垃圾分类能极大程度上提高垃圾的资源价值和经济价值，几乎能够达到物尽其用，极大提高资源回收利用率，同时能极大程度上降低处理成本、改善环境质量。在社会、经济、生态等几方面都会体现出较大的社会价值，对可持续发展具有明显的社会意义。

## **4 结论**

本方案遵循当今时代主题之一——以科技改善环境，以垃圾分类为背景，旨在解决无法正确有效的进行垃圾分类等问题。本方案设计了一款以图像识别（通过对各种垃圾的深度学习）来进行垃圾分类，同时设计了配套的手机 APP 来进行位置的移动遥控。APP 也能实时去帮助人们去识别垃圾，反馈当前的垃圾类型。同时配套的 APP 也能让垃圾桶变得更加智能化，结合麦轮进行全方位地形的移动，同时可结合软件进行移动，方便快捷。本方案的外形和大小可依据实际的需要调整大小，但内部结构及原理不变。有效的解决了现有的居家垃圾桶都是固定放置在某一地点等待着人们去使用的，且无法进行垃圾分类。本方案利用自动循迹小车作为载体，可以召唤小车达到指定的地点，进行垃圾的投放，加有电动桶盖，可以自动打开垃圾桶，方便人们进行投递垃圾。且增加有害垃圾收集盒，方便进行垃圾分类，对环境进行保护。该智能遥控垃圾分类桶的设计，为垃圾分类提供了便利，让垃圾分类不再困难，能够较大程度上的提高垃圾资源价值和经济价值，提高垃圾的回收率，能够为改善环境质量做出一定的贡献。在社会、经济、生态等几方面都会体现出较大的社会价值，对可持续发展具有明显的社会意义。

## 4.1 成果

### 4.1.1 专利申请

在老师的指导下，我们已经递交实用新型专利申请书，其中共递交权利要求书、说明书、说明书附图、说明书摘要、摘要附图六份文件。

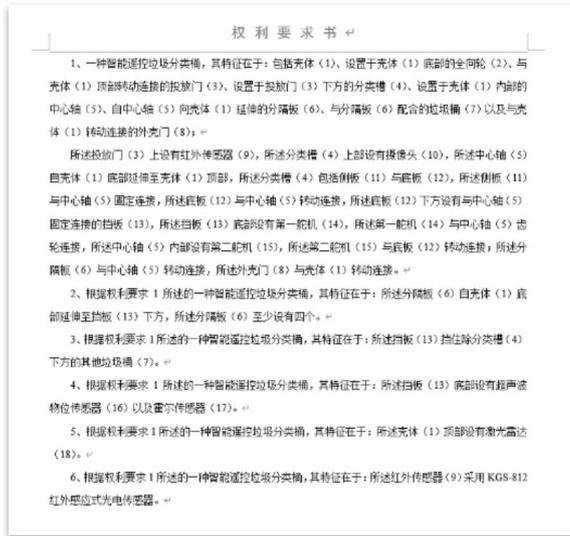


图 4-1 权利要求书

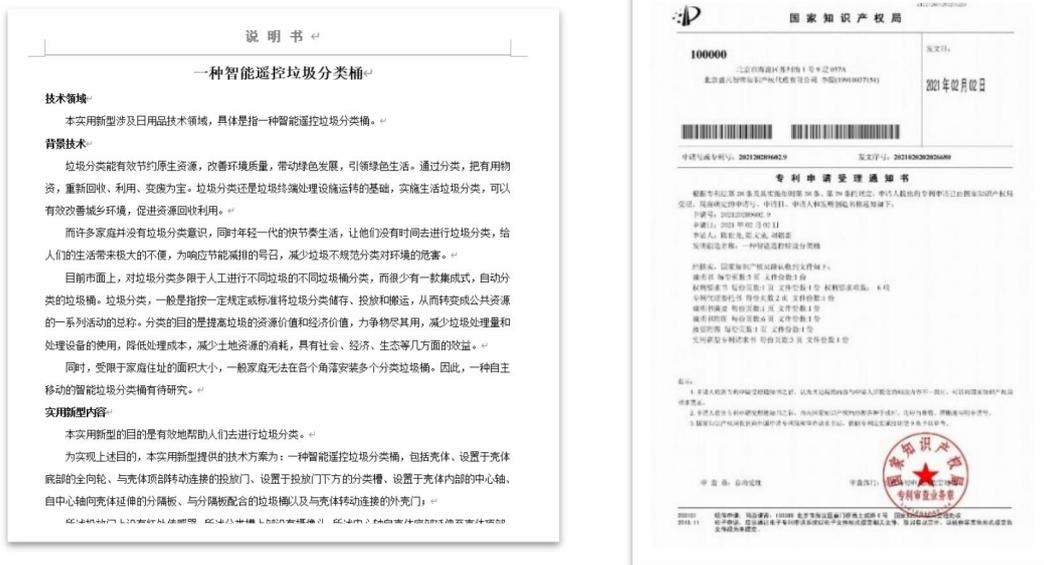


图 4-2 说明书（左）专利申请受理通知书（右）

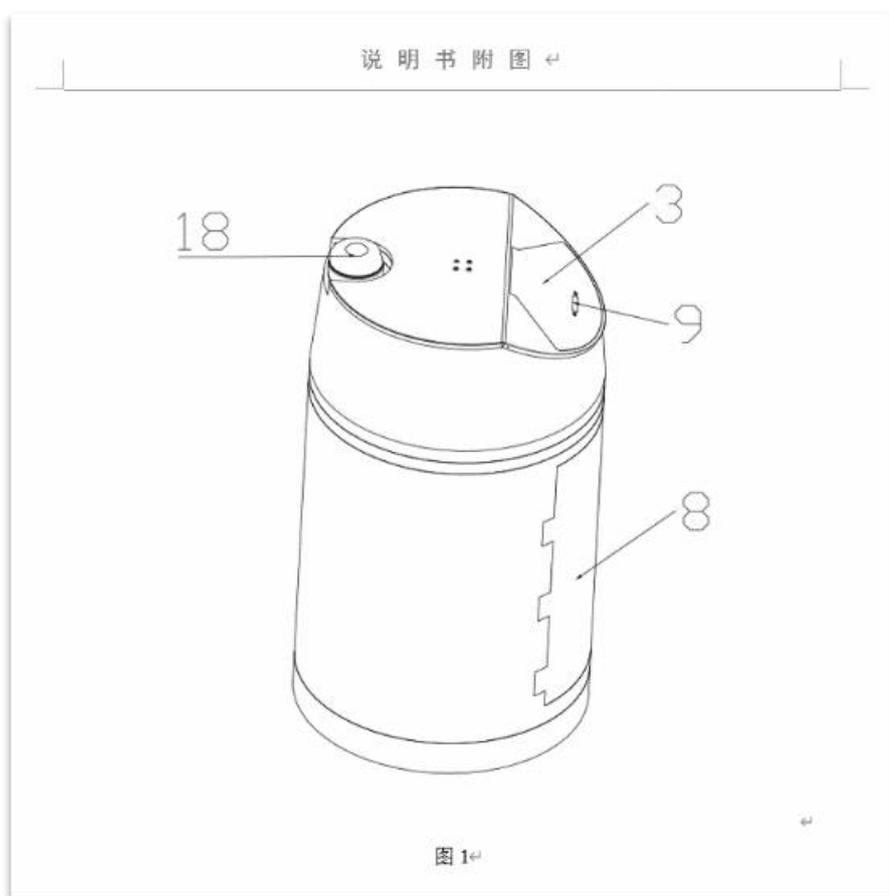


图 4-3 说明书附图

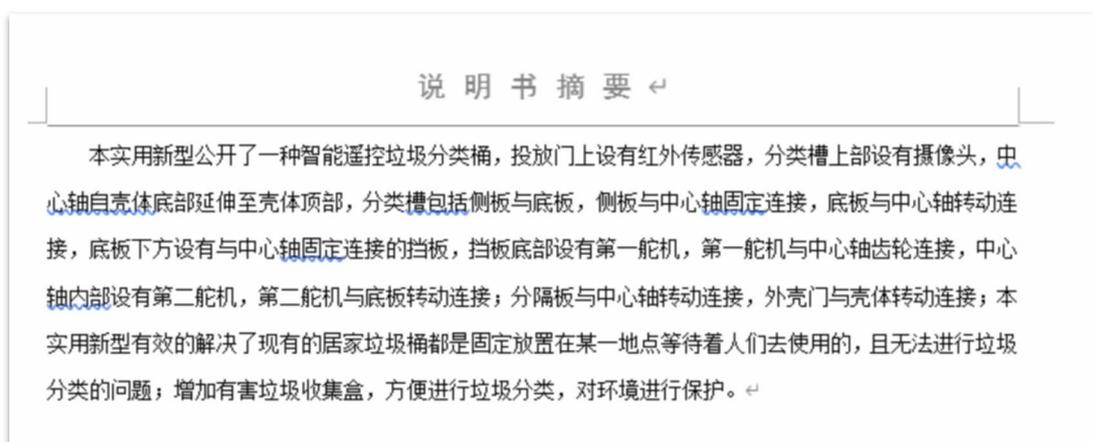


图 4-4 说明书摘要

---

### 参考文献

- [1] 刘策, 柳杨. 互联网时代生活垃圾再创价值的新风尚[J]. 智库时代, 2019(30):264+267.
- [2] 刘文斌 杨代云 李谦 一种智能垃圾分类箱的设计 吉首大学物理与机电工程学院
- [3] 祝朝坤, 魏伦胜. 基于 TensorFlow 的智能垃圾分类系统的研究与设计[J]. 电子产品世界, 2020, 27(6):71-75.
- [4] 吕程熙. 基于深度学习实现自动垃圾分类[J]. 电子制作, 2019(24):36-38.
- [5] 宁凯, 张东波, 印峰, 等. 基于视觉感知的智能扫地机器人的垃圾检测与分类[J]. 中国图象图形学报, 2019, 24(8):1358-1368.
- [6] 赵冬娥, 吴瑞, 赵宝国, 等. 高光谱成像的垃圾分类识别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(3):921-926.
- [7] 黄惠玲, 韩军, 吴飞斌, 等. 建筑垃圾的颜色特征提取与分类研究[J]. 光学与光电技术, 2018, 16(1):53-57.
- [8] CORDES G A, VELASQUEZ M E, AUSDELN L A V, et al. Pattern recognition for validation and verification of waste characterization data[J]. Transactions of the American nuclear society, 2002, 86:35-36.

---

# 基于北斗和无人机集群的高集成化智慧森林防护系统

作者：王天宇、宋杰、谢杨婷、张曦文

指导教师：王金虎、许小龙

学校：南京信息工程大学

---

**【摘要】：**森林在国民经济中占有重要地位，不仅能提供国家建设和人民生活所需，而且肩负着环境保护等多种使命。然而，由于高温、持续的干旱和强风以及人为因素，导致山火频发、火势迅速蔓延。这对人民的生命财产、生态系统的平衡、森林资源的保护无疑是一种灾难，因此对森林火灾发生的预测和预防有重要的经济和社会价值。本文针对现有森林防护监测难、预警慢的弱点，设计并开发了一套高集成化的智慧森林防护系统。对于本套系统，本文开发了国内领先的无人机集群通讯算法、调度算法，北斗三频差分定位技术。其次，系统所采用的林火目标识别及跟踪算法经过上万次的训练，将识别精准率达到 92.5%，并且有效的加入去雾降噪方法，在可见度低的林区环境下也能高效的工作，保证了监测的效率和可靠性。在火情预测方法，此套系统能够根据周边气象环境，实时分析如风力、风向、温湿压等相关参数，在林火产生初期即作出火势预测，第一时间发出预警，并模拟最优路线为救火人员领航。通过核心学习模型，此套系统每次的监测及预测精准度高达 96%，验证了该系统具备高效识别火情及精准定位火情的能力。

**【关键词】：**北斗卫星定位系统，无人机部署，SaBSO 算法，烟雾识别，目标跟踪

**【Abstract】** Forest occupies an important position in the national economy. It not only provides the needs of national construction and people's lives, but also shoulders various missions such as environmental protection. However, due to high temperature, continuous drought and strong winds, and human factors, wildfires occur frequently and spread rapidly. This is undoubtedly a disaster for the people's lives and property, the balance of the ecosystem, and the protection of forest resources. Therefore, the prediction and prevention of forest fires have important economic and social value. Aiming at the existing weaknesses of forest protection monitoring difficulties and slow early warning, a highly integrated smart forest protection system was designed and developed. The system integrates the leading domestic UAV cluster communication algorithm, scheduling algorithm, and BDS three-frequency differential positioning technology. Secondly, the forest fire target recognition and tracking algorithm adopted by the system has been trained for tens of thousands of times, and the recognition accuracy rate reaches 92.5%, and the dehazing and noise reduction method is effectively added, which can work efficiently in the forest environment with low visibility., To ensure the efficiency and reliability of monitoring. In terms of fire prediction, the system can analyze related parameters such as wind force, wind direction, temperature, humidity and pressure in real time according to the surrounding meteorological environment, make fire predictions at the initial stage of the forest fire, issue early warnings as soon as possible, and simulate the optimal route for firefighters Pilot. Through the core learning model, the monitoring and prediction accuracy of the entire system is as high as 96% each time, which verifies that the system has the ability to efficiently identify forest fire and

accurately locate forest fire.

**【Key words】** BeiDou Satellite Navigation System, UAV Disposition, SaBSO Algorithm, Smoke Recognition, Target Tracking Algorithm

## 引言

中国国土辽阔，但森林资源少，地区差异大，森林覆盖率仅为 22.96%，低于全球平均森林覆盖率。森林肩负着调节地球上的水循环和空气循环等多种使命，保护土壤，减轻土壤的流失，维护着地球生态的平衡。

然而，森林火灾会给森林带来严重危害，位居破坏森林三大自然灾害之首，给人类的经济建设造成巨大损失，破坏生态环境。据统计，世界各国每年发生的较大森林火灾多达 22 万次，烧毁林地面积高达 646 万平方公里，全世界森林面积以每年 104 万平方公里的速度递减。2019 年中国发生森林火灾达 1.2 万次，直接损失 37.2 亿元，森林火灾致 1568 人死亡，伤数千人，如图 1 所示。

森林火灾总次数于2008年达到顶峰后呈下降趋势

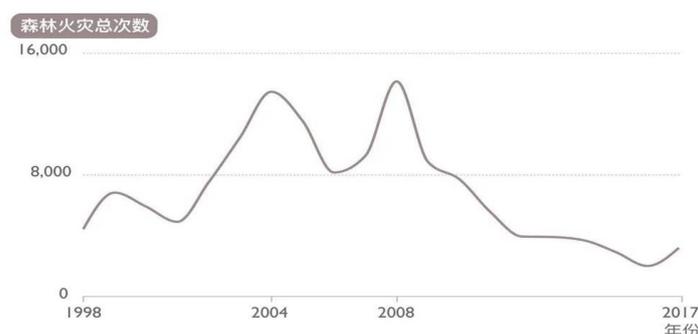


图 1 20 年森林火灾发生次数统计

近 20 年我国共发生森林火灾 138664 次，日均发生森林火灾的次数高达 19 次之多。其中所有森林火灾的火场总面积高达 3961795.7 公顷，相当于 554.87 万个标准足球场（1 个标准足球场面积为 7140 平方米）。从时间趋势上看，森林火灾发生次数从 1998 年至 2008 年呈上升趋势，于 2004 年（13466 次）、2008 年（14144 次）迎来两个小高峰，后整体呈下降趋势，在 2017 年（3223 次）有回潮。而火场总面积在 2003 年（1123750.7 公顷）和 2006 年（562303.6 公顷）达到高峰，如图 2 所示。

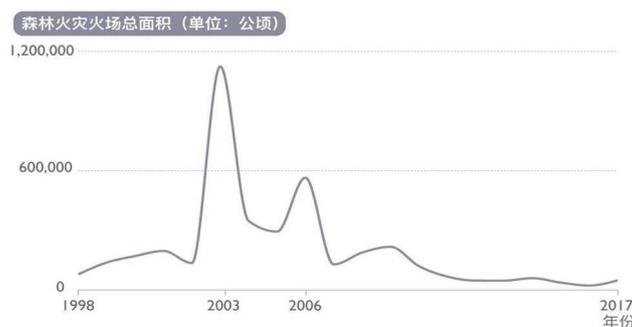


图 2 20 年森林火灾总面积统计

---

在自然条件下，森林火灾的发生有一个过程。森林火灾分为隐性和显性，隐性火灾是森林凋落物在高温以及干燥的环境下阴燃，阴燃状态不会产生明火以及浓烟，并且阴燃所需的反应热以及氧气浓度较低，在这个过程中凋落物自身会释放热量，释放的热量维持其反应的进行。因为阴燃自身具有的隐蔽性，所以难以被人眼直接观测到。阴燃过程中，凋落物的热成像面积和形态会发生变化，此时，当温度达到一定程度，阴燃便会转变为完全燃烧，产生明火。所以，如果能在凋落物处于阴燃状态时就检测其状态并采取相应措施，那么森林火灾的发生将会得到极大的抑制。

现有市面已有森林火灾预警系统大致可分为两种模式：一是利用遥感技术结合通过卫星进行监控。但这类设备精确度低，且不能进行实时监控。第二类是通过各种摄像头进行监控预警，比如超大无人机巡逻和固定瞭望塔进行监控[11][12][13]。而这一类设备一般很难区分烟和雾，并且难以在打雷、下雨天气进行精准判断。同时这两类模式的成本都十分昂贵。

而如今，随着科技的进步和信息行业的发展，对于森林内环境的探测方式也变得越发多样型和高效性。当前，我国自主发展独立运行的北斗卫星导航系统正朝着全球组网的方向迈进，今年中旬已完成全球组网，其在森林火灾的探查和预测方面能够起到重要的作用。到目前为止，针对于基于北斗卫星的森林火灾探测方面的研究比较少，森林灾害预警及防护市场不断发展，越来越多同类型的监测技术和预警技术陆续出现。针对火情监测技术，目前广泛使用到的连续变焦成像系统，是现有市场中探测距离最远的系统，其探测距离为 3000-6000m，通讯距离可达 400-2000m，但其待机功耗高，探测视角狭窄，灵活性低，难以适应各种变化的地形条件。在国内，又有相关研究者提出红外光谱+火灾识别算法进行高精度的检测，其采用红外技术+高灵敏的窄带物联网，可探测碳氢化合物燃烧释放的特定红外光谱及闪烁特征，以此感知火灾现象。但此光学红外窄带热释电传感器（4-6 微米）只有与预先定义好的火焰红外线频谱的模型一致时才能报警，精确度低，且响应速度最高达 15 秒，不够及时。

而在国外广泛落地使用的红外热成像系统，也有其更进一步的潜力。热成像系统精确度极高，响应速度快，且待机功率低，最高只达 0.6w。但其探测距离短，视角小，距离短。大范围距离需要安装很多设备，灵活性极低，成本非常高。

从谢腾、陈寿元等人设计基于 ZigBee 和 ARM 技术的森林火情监测系统，到董晓锐研究基于 FY3 遥感影像的森林火灾监测系统[14]，可以发现林火监测系统的研究和开发有遥感辅助和算法加持的趋势，去硬件化或弱硬件化给林火检测的研究带来了更多可能性。

根据以上情况，本文设计了一种基于北斗系统与无人机的火警监测与实时预警平台，以山林防护为目标，结合无人机自组网络、传感器连接技术、全方位巡查及快速数据传递、数据分析，通过人工智能影像处理，深入研究局部地区的森林气象、地质环境、历史火灾史料，提供定制化服务。火情目标识别算法结合无人机智能调度平台可以实现全方位监测，建立一套动态的自适应森林防护系统，快速可靠地给出预警，可视化地维护森林安全。

本文以高集成化智慧森林防护系统作为引流续航，保证了监测的实时有效，在嵌入式的软件层面，已开发的功能完备成熟，能很好的满足需求，并且有着用户友好的界面，让用户能灵活方便得使用这套系统。本套系统开发了国内领先的无人机集群通讯算法、调度算法，形成无人机集群通信网络，引入北斗卫

星导航系统特有的三频差分定位技术，将定位精度保持在米级。另外，系统基于 AI+“气象”建立学习库，对已发生的森林火灾进行趋势预测，实时跟踪。在对这一系列数据进行可视化处理后，系统以 AI 快速图传的方式传输有效数据，作出预警报告。在系统不断提供服务的过程中，也会不断更新优化数据库，使得每一次的预警达到超乎预期的精准。

## 1 系统无人机硬件组成

基于北斗的高集成化智慧森林防护系统的巡逻无人机硬件主要由电源、主控芯片、北斗三频定位模块、数据传输模块、Arkbird 一体无刷云台相机和三轴云台构成。当摄像头捕捉到烟时，会将北斗三频定位模块获取的定位信息，通过数据传输模块发送到监测系统，并由监测系统指派灭火无人机根据定位信号立刻飞往起烟点。

### 1.1 无人机类型

#### 1.1.1 四旋翼无人机

用于火灾监测的可行机器选型有爬行机器人与无人机，但考虑到森林有覆盖面积辽阔、地形复杂的地理特性，在森林火灾监测方面，爬行机器人的局限性远高于无人机<sup>[5][6][7]</sup>，因此，本系统选择无人机为监测装置的载体。

四旋翼无人机 Pixhawk 飞行控制器：Pixhawk 是一款基于 ARM 芯片的 32 位开源飞控，它具有来自 ST 公司先进的处理器和传感器技术，是一款高性能自动驾驶仪。



图 3 Pixhawk 飞行控制器硬件及无人机

其碳纤维六轴无人机机架是无人机的传感器、飞行控制器、动力系统的承载平台。以及多旋翼无人机动力系统由无刷电机、螺旋桨、电子调速器和聚合物锂电池构成。

无刷电机采用半导体开关器件来实现电子换向，具有可靠性高、无换向火花、机械噪声低等优点，它以极高的转速带动桨叶转动为无人机提供升力，通过改变电机的速度，使得无人机能够在空中调整飞行姿态；电子调速器根据飞控控制信号，将电池的直流输入转变为一定频率的交流输出，用于控制电机的转速；聚合物锂电池为无人机的各个模块提供动力。



图4 无人机基本设备

### 1.1.2 用于森林灭火的固定翼无人机

由固定翼无人机，灭火弹投放装置，气溶胶灭火弹组成，当山知声的森林防护系统监测到火灾的发生，通过无人机调度算法派遣距离火源最近的固定翼无人机定点投放气溶胶灭火弹以达到缓解火情的目的

固定翼无人机是由动力装置产生前进的推力或拉力，由机身的固定机翼产生升力，在大气层内飞行的重于空气的航空器。



图5 信仰者和灭火弹

其次还包括灭火弹投放装置：该投放装置包括锁钩组件和呈可打开设置的投放容器，所述锁钩组件包括驱动机构、锁钩和跨接件，所述跨接件一端固定于所述投放容器，另一端与所述锁钩连接，所述驱动机构驱动所述锁钩，使所述锁钩与所述跨接件脱离，从而打开投放容器。

更重要的是有气溶胶灭火弹：气溶胶灭火剂可以分为两种类型：一种是在气溶胶灭火剂释放之前，气体分散介质和被分散介质是稳定存在的，气溶胶灭火剂的释放即气体分散液体或固体灭火剂形成气溶胶的过程<sup>[8][9]</sup>；另一种是气溶胶灭火剂的释放经过了燃烧反应，反应产物中既有固体又有气体，气体分散固体颗粒形成气溶胶，也可称为气溶胶发生剂。

DKL 灭火剂与“哈龙”灭火剂的性能对比如表 1:

表 1 灭火剂性能对比

灭火剂种类	扑灭各种火源时的灭火剂最低用量 (g/m <sup>3</sup> )		
	煤油、柴油	发泡聚氨基	木材、棉纸
DKL	30	30	30-40
1301	200-205		205-235
1211	235-266		260-290

实验测得的 DKL 灭火剂的一些性能数据如表 2:

表 2 DKL 灭火剂性能数据

DKL 灭火剂的性能数据 (40g)			
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	燃烧时间 (S)	线性燃速 (mm/s)	残渣量 (g)
1.42	6	4.02	1.8
DKL 灭火剂的性能数据			
灭火条件	上部火源熄火时间 (S)	下部火源熄灭时间 (S)	
火源为两束浸煤油的棉纱,分别位于 1m <sup>3</sup> 相对封闭空间的上部和下部	5.2	9.6	

气溶胶相对于其他任何类型的灭火剂有很多优点,它不需要采用耐压容器,因为含能材料本身燃烧时可提供驱动能量,它可以以全淹没的方式灭火,气溶胶灭火颗粒的粒度极小,可以绕过障碍物并在火灾空间有较长的驻留时间,它相对于干粉灭火剂具有更大的灭火效率,可用于开放的空间:对于不含有卤代烷成分的气溶胶灭火剂来说,它不会损耗大气臭氧层,在灭火性能上和成本上也比“哈龙”灭火剂更占优势。仅 2kg 的气溶胶即可覆盖 80 m<sup>2</sup> 的着火区域。



图 6 气溶胶

## 1.2 北斗定位模块

本系统采用 SKG1223 定位模块获取定位信息，与主控芯片的通信接口采用 UART 串口方式，输出的定位信息采用 NMEA-0183 协议。该协议采用 ASCII 码传输模块定位信号，并通过串口通信将信息传输回主控芯片，最后借助数据传输模块将经过代码解析后的定位信息传送到监测中心。

SKG1223 是一款高性能的导航定位模块，支持北斗二号、三号的 B1I/B1C/B2A 三频卫星接收，能够更好地消除高阶电离层延迟的影响，使定位更快、精度更高、产品性能更可靠。另外，该模块拥有-162dBm 的跟踪灵敏度，冷启动时间小于 28s，热启动小于 1s，定位性能优越，使得模块在弱信号环境下依然能够提供精准位置服务。

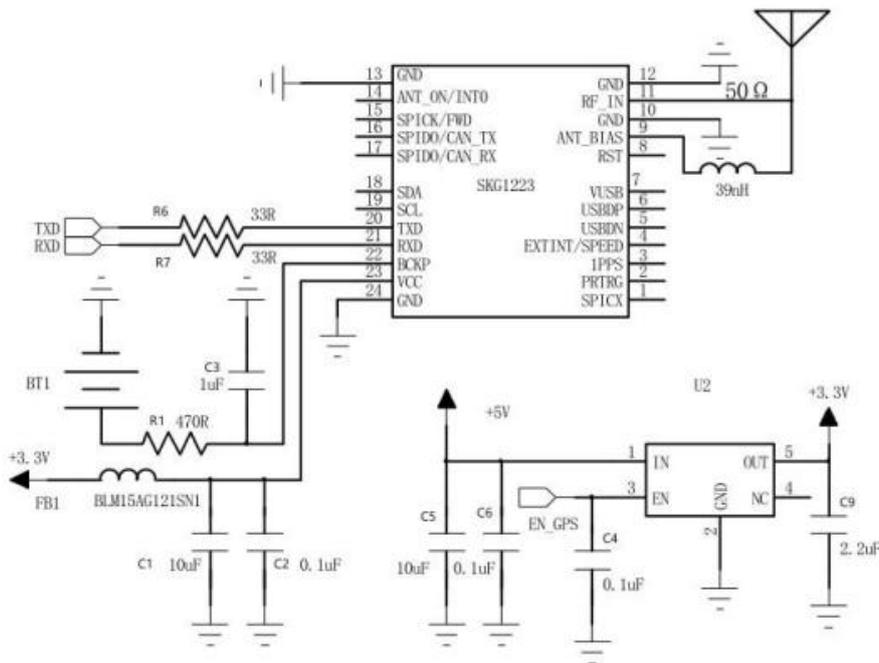


图 7 SKG1223 电路图

## 1.3 数据传输模块

考虑到森林环境比较偏僻，使用网络信号不便。同时 WiFi 等短距离组网方式不便于森林全域的远距离传输。因此，本系统采用亿佰特 SX1262 数传模块，该模块是一款远距离、低功耗的无线收发器，支持的工作频段覆盖了 150-960MHz，是一款高性能的物联网无线收发器，具备特殊的 LoRa 调制方式，可在一定程度上增加通信距离，并且可以实现自动中继组网。

## 2 系统核心算法

### 2.1 基于 Q 学习的无人机部署

每一片林区都会有属于它的特征，例如树木种类、林场面积、植被覆盖、地势地貌等因素不同。因此，针对于特定用户的需求，需要通过特征学习给出具有强针对性的无人机群调度排布方案。

一般的基于图论、深度学习的无人机部署方案，不具有强适应性。系统采用了强化学习中的 Q 学习，作为无人机部署的支撑算法。

强化学习 (Reinforcement Learning, RL)，又称再励学习、评价学习或增强学习，是机器学习的范式和方法论之一，用于描述和解决智能体 (agent) 在

与环境的交互过程中通过学习策略以达成回报最大化或实现特定目标的问题。强化学习中有状态（state）、动作（action）、奖赏（reward）这三个要素。智能体会根据当前状态来采取动作，并记录被反馈的奖赏，以便下次再到相同状态时能采取更优的动作。

在预设的场景下，智能体就是用于部署的无人机，目标就是实现无人机拍摄画面的最优化。而状态是所有无人机的暂时部署安排，包括无人机的数量和位置信息。动作指无人机的移动方案，通过改变无人机的三维位置，尝试更好的奖赏。奖赏则是拍摄图像中森林的占比面积、拍摄点发生火灾的概率、拍摄点人际活动点范围等。

```

Q-learning (off-policy TD control) for estimating  $\pi \approx \pi_*$ 
Initialize  $Q(s, a), \forall s \in \mathcal{S}, a \in \mathcal{A}(s)$ , arbitrarily, and  $Q(\text{terminal-state}, \cdot) = 0$ 
Repeat (for each episode):
  Initialize  $S$ 
  Repeat (for each step of episode):
    Choose  $A$  from  $S$  using policy derived from  $Q$  (e.g.,  $\epsilon$ -greedy)
    Take action  $A$ , observe  $R, S'$ 
     $Q(S, A) \leftarrow Q(S, A) + \alpha [R + \gamma \max_a Q(S', a) - Q(S, A)]$ 
     $S \leftarrow S'$ 
  until  $S$  is terminal

```

[https://blog.csdn.net/geter\\_CS](https://blog.csdn.net/geter_CS)

图 8 Q 学习的伪代码

通过自适应性的无人机部署算法，对于每一个客户提出的林区状况，我们都可以给出合理且高性价比的监测安排。

## 2.2 基于 SaBSO 算法的无人机移动通信自组网络

系统将无人机的工作模式从传统的“单机——后方中心”模式转向更现代化的“机群——后方中心”模式。为了有效应对动态环境的随机变化特征，如何研制自适应能力强、自组织能力强的多无人机动态任务分配方法，也是当前多无人机协同任务分配问题必须解决的难题。多机协同任务处理的前提是实现无人机群自主测控通信一体化，也就是必须组建具有较强通信能力、信息感知能力和抗毁性强的无人机网络。该网络必然是一个动态性很强的网络，网络的拓扑结构快速变化，不断有节点加入或离开网络。因此，去中心化的移动自组网络（Ad Hoc，简称 Ad Hoc 网络）是非常适用于建立无人机网络的技术。

考虑到头脑风暴演化算法（BSO）在大规模高维度问题上的性能，将 BSO 算法的候选解产生策略与其他演化算法的候选解产生策略的比较，研究不同策略对通信分组和簇头节点选择的影响<sup>[10]</sup>。在此基础上，选择合适的候选解产生策略构成新的策略池，结合自适应机制以提高 BSO 适应不同问题的能力。将 SaBSO 算法用于无人机动态通信组网问题，通过 SaBSO 来寻找该问题的最优解，即最佳组网策略。

系统使用了基于 SaBSO 算法的集群聚类模型来搜索无人机部署的全局最优解，并通过应用这种集群聚类方法，将无人机集群的部署映射到一维空间，得到具体部署位置并且分离对应单体。

在无人机个体和集群间的迭代模型如下图所示，无人机个体的选择涉及普通个体及中心个体的竞争。

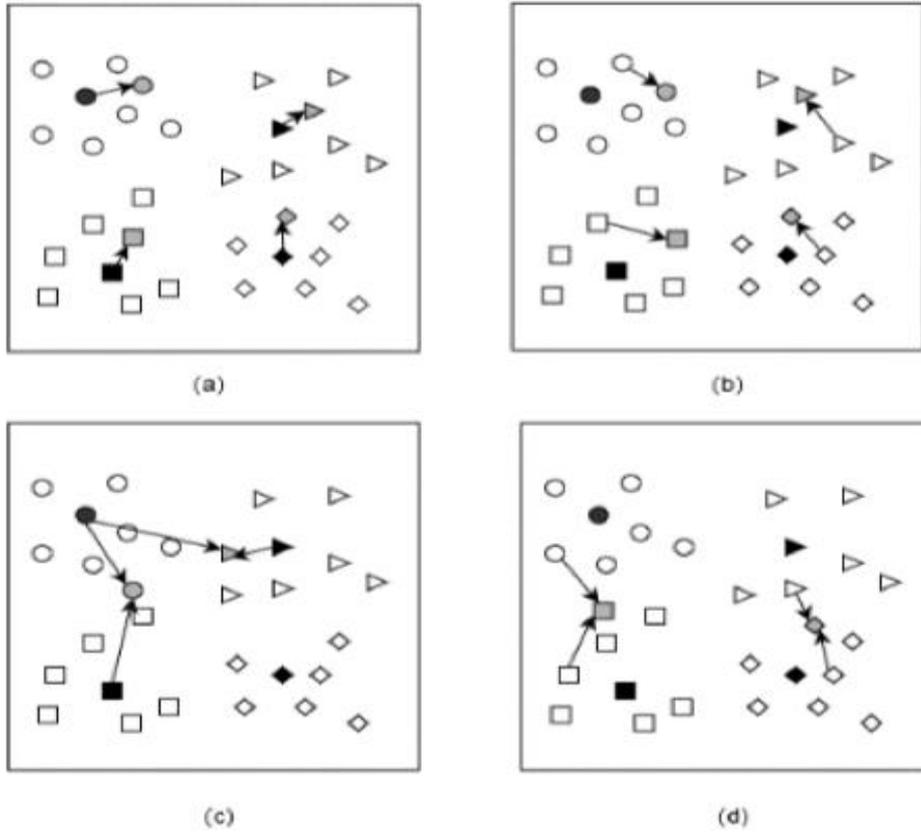


图9 无人机集群个体的通信选址  
算法流程如图10所示：

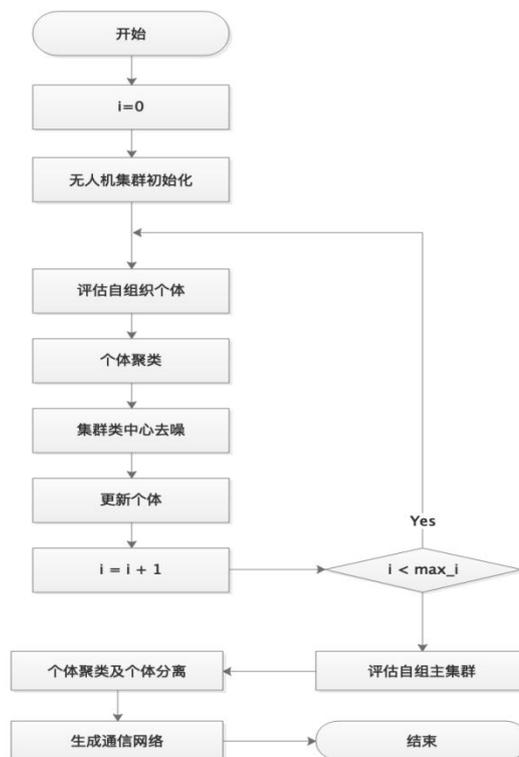


图10 无人机自组网络算法流程

在上述模型中生成的网络，由无人机担当网络节点组成具有任意性、临时性和自治性网络拓扑的动态系统。作为网络节点，每架无人机都配备 Ad Hoc 通信模块，既具有路由功能，又具有报文转发功能，理论上可以通过无限连接构成任意的网络拓扑，在实际训练中网络响应速度均小于 0.1 秒。

### 2.3 烟雾识别

烟雾识别算法最重要的问题就是算法的准确率，本着“宁错勿漏”的原则，可以一定比例地误判，但不可以漏判，最终通过人工识别来确认，所以排除非烟雾干扰物如河流、云雾、白灰色物体的干扰，提高预警准确率和降低误报率、漏报率是烟雾识别算法优化的重点。

系统采用的混合算法整个流程经过二值化处理、RGB 颜色模式烟雾区判别式、多特征融合三个主要步骤的判断后，如果三者都成立则进入预警阶段，人工识别烟雾，如果成立最终采取报警处理，否则全部进入不报警处理。以烟区的 RGB 模型为准，计算出烟雾区的最小灰度亮度值，假设为 160，设置为二值化阈值，混合算法先进行二值化处理，提取亮度大于 160 的区域，如果无，说明肯定没有烟雾和其他亮度超过 160 的物体，如果有，说明可能有烟雾，也可能是其他灰白色干扰物，再进入混合算法的第二步。这个步骤是为了快速提前高亮部分，直接进行初步判断，处理数据较少，简单迅速有效，尤其是对于没有干扰物的比较理想的林区烟雾识别十分有利。经过第一步的灰度亮度初步判断后，亮度大于 160 的像素有可能是烟雾，也有可能仅仅是比较亮的物体而已，例如黄土、水泥道路。这就需要运用基于烟雾区 RGB 模型的烟雾区判别式来识别部分干扰物，尤其是具有明显的与烟雾区不同的颜色特征的即 R、G、B 某一个值明显偏大的干扰物，以及部分亮度超过烟雾区范围的亮白色干扰物很容易排除。但是即便是这样，也还是有一部分与烟雾颜色特征很相近的物体会识别不出来，如河流、云雾、白灰色物体等干扰物，如果不作处理，会导致混合算法误判预警。混合算法的最后一步就是为了进一步排除烟雾区 RGB 模型识别不了的干扰物，最终提高报警准确率、降低误报率。



图 11 烟雾识别

### 2.4 目标跟踪算法

尽管近年来目标跟踪技术取得了长远的进步，但现有的很多算法在跟踪过程中仅仅使用第一帧图像的目标信息，导致模型在目标遭到形变，遮挡等挑战时性能下降。为了适应无人机实时移动过程中位置变化的不确定性，我们基于全卷积孪生网络的目标跟踪算法，引入通道注意力机制和空间注意力机制，对不同通道和空间位置的特征施加不同的权重，着重关注空间位置和通道位置上

对目标跟踪有利的特征[11][12][13]，同时加入在线更新机制，将第一帧图像特征与后续跟踪图像帧中置信度较高的图像特征进行融合，从而提高特征的判别力，降低算法在目标遇到遮挡，形变等挑战跟踪失败的概率。

出算法的主要框架如图 12 所示，网络由模板分支和搜索分支组成，两者分别接收第一帧的模板图像和待跟踪的第 T 帧搜索图像，我们将模板分支接收的第一帧模板图像记为  $z$ ，搜索分支接收的第 T 帧搜索图像记为  $x$ ，特征提取网络记为  $\phi$ ，图 3-1 中第 2 帧和第 n 帧表示在算法更新过程中用于弥补第一帧图像特征的高置信度跟踪图像，框架图中“ $\times$ ”表示点乘操作，“+”表示特征相加，“ $*$ ”表示卷积操作。在跟踪过程中，首先第一帧模板图像送入特征提取网络和注意力机制网络进行特征提取，后续每一帧搜索图像经过特征提取网络得到的特征图都与模板图像利用卷积操作进行相似性计算，根据得到的响应图可以确定最终的目标位置。第一帧模板图像的特征提取操作在一段视频跟踪中只需要进行一次。

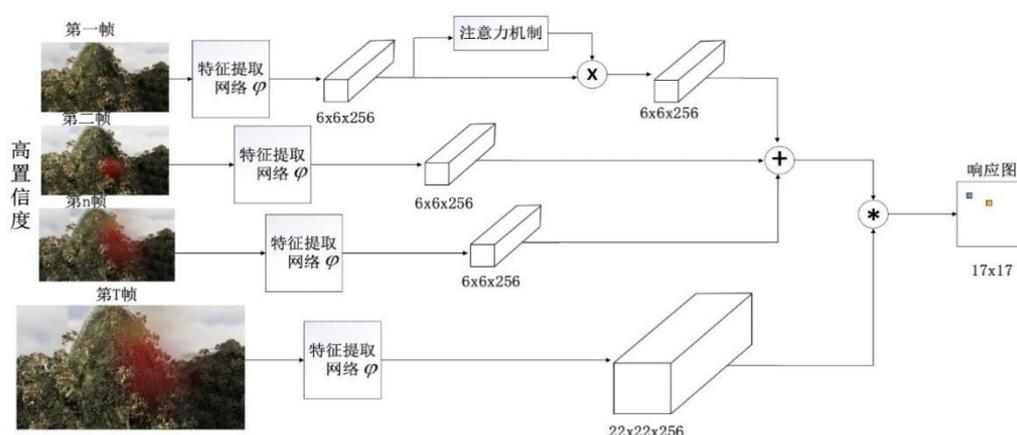


图 12 基于时空注意力机制的目标跟踪算法结构图

## 2.5 5G 通信技术

无人机高清视频数据传输组网由无人机视频数据采集设备、机载基站、无人机地面站、5G 回传终端（CPE）、安全网关、5G 基站以及骨干通信网络 7 个主要环节组成。其中，影响传输效果的关键是无人机图传电台、无人机地面站、5G 回传终端之间的传输效率。采用具备网络接口视频输出的 4K 高清摄像设备，通过网络接口（RJ45）接到 5G 回传终端设备。无人机搭载回传终端设备[14][15]，在空中实现 5G 信息链路的链接，将机载 4K 视频数据直接传输到 5G 基站。机载基站和回传终端部署在无人机平台上提供应急网络覆盖以及将数据传输到现网宏站的功能。安全网关主要用来提供数据解密、防火墙等功能，核心网主要用于用户鉴权、接入管理和数据转发等功能。终端接入机载基站后，机载基站将数据进行加密，加密后的数据通过回传终端传输到宏站以及核心网的网关中，核心网网关将加密数据转给安全网关后对数据进行解密，再通过核心网网关转发到互联网，实现应急通信数据传输的整体流程。通过 5G 基站利用骨干通信网传输到终端，可以实现 4K 高清视频的实时传输。从而实现了无人机不受图传电台的限制，只要有 5G 信号就可以传输数据；高清视频传输距离仅受限于 5G 基站的信号覆盖能力，实测可以达到 1 000 m，可以在多个 5G 基站之间切换，实现高清视频的流畅传输；平均延时低，减少了中间传输设备和环节。5G 通信网络依靠它明确可靠性高、通信延时低的优点，主要应用在

高延时性与高可靠性场景中，因此对森林火情的监控和预测的效率和准确性的提升起了巨大作用。

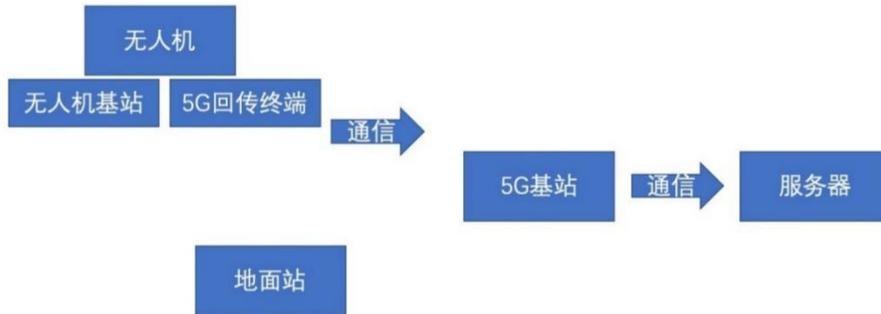


图 13 5G 通信网络传输图

### 3 系统软件设计

针对本文已研发的相关技术，基于北斗三频差分定位进行总体的嵌入式系统设计，我们以 Microkernel Architecture（微内核架构）作为系统软件的开发架构。本文前期通过林防系统需求分析、可行性研究以及适应性的数据库设计，进行面向森林防护功能进行拆分的可扩展性架构的软件设计。由于本文所涉及的智慧林防系统通信需求高，数据并发量大，而采用的微内核架构具有通信灵活、业务扩展性强等特点<sup>[16][17]</sup>。微内核架构包含两类组件：核心系统（core system）和插件模块（plug-in modules）。核心系统负责和具体业务功能无关的通用功能，即上层透明，例如模块加载、模块间通信等；插件模块负责实现具体的业务逻辑，即下层实现。

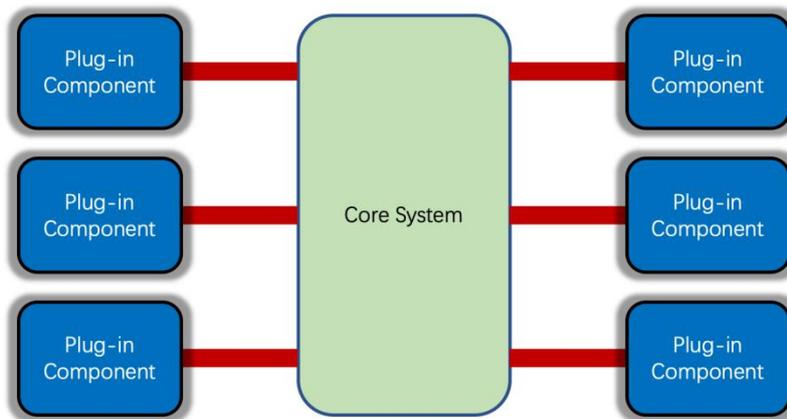


图 14 微内核架构

通过微内核架构，对系统开发进行插件管理，插件连接和插件通信。这里所涉及到的插件有图数据库，系统嵌入式硬件配置文件及逻辑代码等。

在本文的林防软件系统设计中，引入规则引擎，将业务逻辑实现与业务系统分离，提供可视化的规则定制，即无人机监测路径控制、监测图像可视化分析、数据中心统计分析、气象环境参数分析等，方便业务技术人员快速配置新的业务。

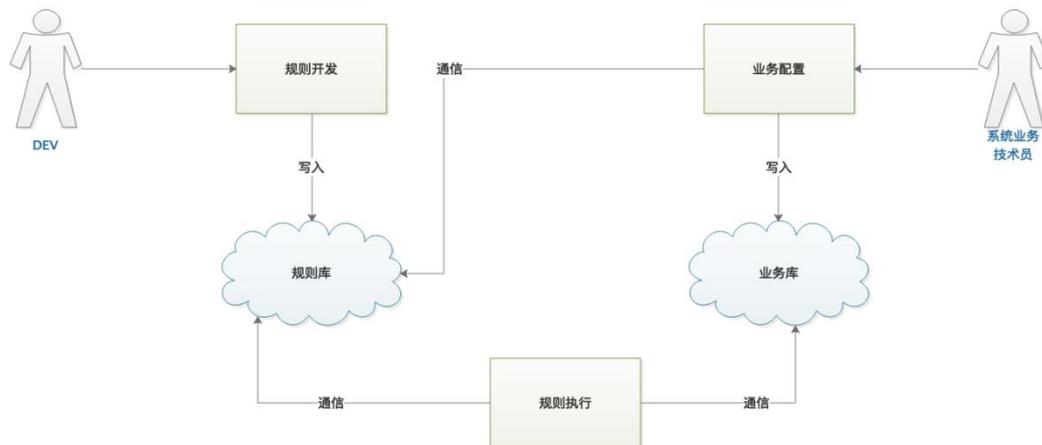


图 15 系统规则配置架构

数据处理作为森林环境数据、监测图像数据分析处理的核心，主要任务为完成无人机监测终端上传数据的接收，并在系统软件完成数据分析判断与预警。软件各子功能模块之间协同工作，实现森林环境数据处理的功能，如有林火异常或环境异常，服务器发出报警，将异常状态抛出到森林环境监测终端，系统监测终端将其信息展示到界面，发送预警信息给业务操作监护人员。

本文所设计的监测系统软件 UI 界面如图 16 及图 17 所示，在模型层和控制层的架构中都服从微内核架构。



图 16 系统总控界面

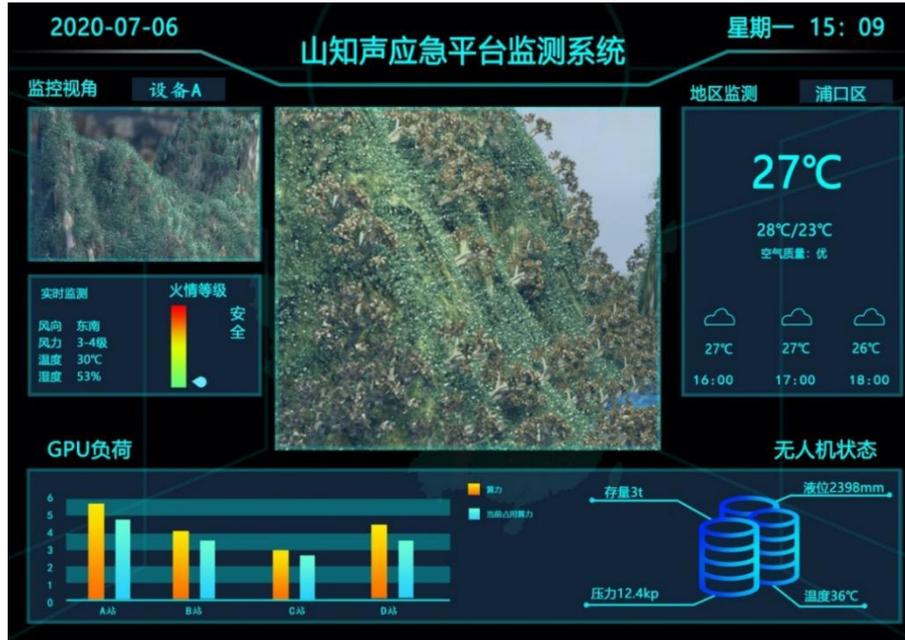


图 17 系统监测实时视角界面

## 4 创新点与结论

### 4.1 创新点

- 动态无人机自组中继通讯网络
- 基于 BSO 的无人机集群聚类算法
- 无人机蜂巢智能调度平台
- 基于注意力机制的火情识别和目标跟踪算法
- 气象模拟环境预测技术
- 北斗三频差分技术的应用场景创新

### 4.2 结论

本文针对森林火灾预警慢、追踪难、技术旧等问题<sup>[18]</sup>，提出了基于北斗和无人机的高集成智慧森林防护系统。该系统运用基于 BSO 的无人机集群聚类算法和基于注意力机制的火情识别和目标跟踪算法，对无人机集群进行合理部署。当巡逻无人机检测到火情疑似点时，会借助北斗三频差分技术发送高精度定位。同时，灭火无人机会结合气象模拟环境预测技术，选择最佳飞行路径赶往火情点，高效、快速地完成灭火任务。

---

## 参考文献

- [1] 张庆杰, 郑二功, 徐亮, et al. 森林防火无人机系统设计与林火识别算法研究[J]. 电子测量技术 2017, 40(1):140-145.
- [2] 赵飞. 旋翼无人机火点定位关键技术研究[J]. 江苏科技信息, 2016, No. 479(02):50-52.
- [3] 王思嘉. 无人机火灾检测平台的设计和构建[D]. 广州:华南理工大学自动化科学与工程学院, 2011.
- [4] 唐尧, 王立娟, 赵娟, 王安澜. 基于遥感技术的“3·28”四川木里森林火灾应急灾情监测[J]. 国土资源信息化, 2021(01):12-18.
- [5] Yuan, Chi, Zhang, Youmin, Liu, Zhixiang. A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2015.
- [6] Pajares, Gonzalo. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81(4):281-330.
- [7] Berni, J, Zarco-Tejada, P. J, Suarez, L, 等. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 47(3):722-738.
- [8] 邢美净. 基于红外热像仪的森林凋落物阴燃火灾探测[D]. 东北:东北林业大学森林工程, 2017.
- [9] Yuan C, Liu Z, Zhang Y. UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques[C]// 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2015. IEEE, 2015.
- [10] Jordehi A R. Brainstorm optimisation algorithm (BSOA): An efficient algorithm for finding optimal location and setting of FACTS devices in electric power systems[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2015, 69(jul. ):48-57.
- [11] 程旭, 崔一平, 宋晨, 陈北京, 郑钰辉, 史金钢. 基于时空注意力机制的目标跟踪算法[J/OL]. 计算机科学:1-10[2021-03-19].
- [12] 齐天卉, 张辉, 李嘉锋, 卓力. 基于多注意力图的孪生网络视觉目标跟踪[J]. 信号处理, 2020, 36(09):1557-1566.
- [13] 侯建华, 麻建, 王超, 项俊. 基于空间注意力机制的视觉多目标跟踪[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2020, 39(04):413-419.
- [14] Stainov R, Goleva R, Achkosk J, et al. Communication Aspects in Using Unmanned Aerial Vehicles for Early Detection of Forest Fires[C]// 2017 Computer Science and Education in Computer Science(CSECS'17), Albena, Bulgaria, 2017.
- [15] 王振师, 周宇飞, 李小川, et al. 无人机在森林防火中的应用分析[J]. 林业与环境科学, 2016(1):31-35.
- [16] 张会可. 基于 STM32 的森林防火监测终端的设计与开发[D]. 西安:西安电子科技大学电子与通信工程, 2017.
- [17] 周峰, 王丽芳, 蒋泽军. 一种基于微内核的系统结构的设计与实现[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2007(05):1195-1197.
- [18] 张运林, 郭妍, 胡海清. 2001-2017 年西南地区森林火灾数据特征分析[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(01):179-186.

附件



图 18 基于 Q-Learning 的森林救灾无人机集群避障系统



图 19 遥感 LAI 时序数据重建分析系统

---

## 基于北斗卫星导航系统的海空联合无人搜救船

作者：张津滔、张海天、期沙友布

指导教师：姜言清

学校：哈尔滨工程大学

---

**【摘要】：**建设海洋强国，是中国特色社会主义事业的重要组成部分。习近平同志在党的十九大报告中指出：“坚持陆海统筹，加快建设海洋强国。”作为海洋相关产业开发的基础保障，海上搜救必需借着当下科技发展来提升救援能力，以满足国家海洋强国建设的需求。然而相比于陆地搜救，海上搜救有更多的不可预测性，因此它的难度也更大，而且传统的人工搜救对搜救人员具有一定风险，易发生二次事故。当下随着无人机与水面无人艇技术的发展，其在海上搜救方面的发展潜力逐渐被人们关注。本文将介绍一种海空联合无人搜救船：搜救船作为主体，无人机协助扩大搜救范围。整体以北斗卫星导航技术为支撑，首先由无人机对事发海域进行搜索，在无人机确认搜救目标后将位置信息传至搜救船；搜救船将结合电子海图文件，通过改进的A\*算法得出最优救援路径，实施救援；并且北斗卫星导航系统的短报文技术为无人机与无人船之间提供一定信息交互功能，通过两者协作以达到搜救范围广，速度快等目标要求，为海上搜救提供新科技下的解决方案。

**【关键词】：**北斗导航，水面无人艇，海上搜救

**【Abstract】** Building marine power is an important part of the cause of socialism with Chinese characteristics. President Xi Jinping pointed out in the major reports delivered at the 19th National Congress of the Communist Party of China: "We will pursue coordinated land and marine development, and step up efforts to build China into a strong maritime country. " As the basic guarantee for the development of marine related industries, maritime search and rescue must take advantage of the current development of science and technology to improve the rescue capacity, so as to meet the needs of the construction of a national maritime power. However, compared with land search and rescue, maritime search and rescue is more unpredictable, so it is more difficult. Moreover, the traditional manual search and rescue has a certain risk to the search and rescue personnel, which is prone to secondary accidents. At present, with the development of UAV and USV technology, its development potential in maritime search and rescue has been gradually concerned by people. This paper will introduce an air-sea unmanned search and rescue ship: search and rescue ship as the main body, UAV to help expand the scope of search and rescue. The whole system is supported by the BeiDou Navigation Satellite System. Firstly, the UAV searches the sea area, and transmits the location information to the search and rescue ship after the UAV confirms the rescue target; the ship will combine the electronic chart file to obtain the optimal rescue path through the Improved A\* Algorithm to implement the rescue; and the short message communication of the BeiDou Navigation Satellite System provides a certain communication between the

---

UAV and the UAV Information interaction function, through the cooperation of the two, to achieve the goal of wide range and high speed of search and rescue, and provide solutions for maritime search and rescue under new technology.

**【Key words】** Beidou navigation, USV, maritime search and rescue

---

## 项目背景

随着当今时代国家对海洋开发的大力发展，海上搜救作为社会平安稳定的重要保障，以及促进海洋资源勘探与开采、海上交通业发展以及对海洋的综合利用的重要环节，需要随着科技的发展及时更新迭代，提升搜救能力。本项目旨在将当下发展迅速的无人机与无人艇技术应用于海上搜救，并结合我国自主研发的北斗卫星导航系统相关功能，设计出海空联合无人搜救船，作为一种新的海上搜救方式提升海上搜救效率。

以航空器海上失事为例，传统海上搜救会派出直升机、搜救小艇、搜救船三方队伍前往支援，到达事发地点的顺序同上，其中直升机的功能为初步勘探失事现场、提供绞车维持飞机漂浮以及派出人员初步救援；搜救小艇则是在直升机派出的救援人员完成一定的人员搜救后将伤员初步处理并分批送至搜救船；搜救船则以平台的身份为搜救提供基础保障，如伤员的进一步治疗、直升机与搜救艇的维修与燃料补给等。

本项目通过无人机与无人艇的协作，搜救方向为已落水人员，一定程度上替代传统搜救中直升机与搜救小艇，完成传统海上搜救中的初步勘探、确定落水目标、实施救援并运至主体搜救船等对人员依赖性较低的搜救功能，促使人工搜救力量转向搜救核心过程（例如解救被困在失事物中的人员），以此一定程度上提升海上搜救效率。



图 0-1 电源《紧急搜救》中的海上搜救场景

近期随着影视作品《紧急救援》的推广与播出，人们对于海上救捞人、不同类型的海上搜救流程等常规海上搜救知识有了更多的关注与了解。我国海上搜救领域早已形成了空中、水面、水下的“三位一体”的综合救援模式，空中实现大面积搜寻与立体施救，水面进行快速支援，水下进行潜水打捞作业，以此可对任何类型的海上事故进行援助。在当下，海上搜救则需要充分利用科技发展优势，利用可靠的无人技术，提升救援效率与能力，助力相关机构第一时间得出最快最正确的搜救方案并成功实施。

# 1 创新方案

## 1.1 新型减阻槽道双体船型

通过 SolidWorks 进行建模，参考 022 导弹艇船体，设计出一种结合了小水线面双体船和穿浪双船特点的复合型船体。即新型减阻槽道双体船型。为了降低波浪扰动力矩对于船体的作用，减小船体的水线面积，减小船体在波浪不定的大海中做摇摆运动，提高船体的稳定性，小水线双船体是把绝大部分排水体积转移至水线面一下的深处。因此，这种结构对于一般的船体结构，会具有更好的快速机动性。而穿浪双船体是具有内倾式穿浪型设计的双体船型。舰艏能够直接穿越波浪而不像是传统舰体深“V”型那样在波浪上乱跳，所以减小波浪的冲击载荷，使舰船在波浪中获得优异的平稳性和快速性。



图 1-1 022 导弹艇



图 1-2 作品实物测试

## 1.2 双动力系统差速回转，喷水推进操纵性好，适应性强

采用双喷水推进器航行的方式，在增加无人船的动力，提高航行速度的同时，可利用差速回转，减小无人船的转弯半径，提高无人船的灵活性。

推进水泵喷出的水流的反作用力提供了喷水推进的推力，船舶的转向等操纵则通过控制喷流的大小和方向来实现，并且回转时推进器产生的侧向力减小了转弯半径，使其具有优良的高速机动性。而且喷水推进具有浅水效应小，传动机构简单，维修保养更便利等优势。特别是在泥沙底的浅水航道，喷水推进器相较于传统螺旋桨推进的适应性更强。



图 1-3 双动力系统示意

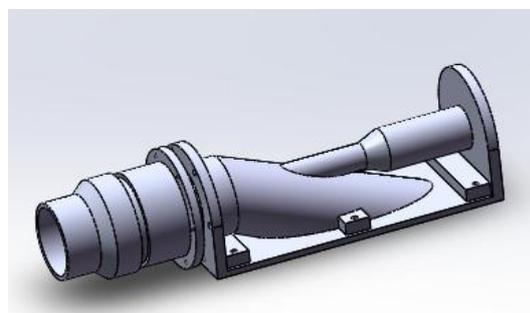


图 1-4 喷水推进部分设计图

## 1.3 海空联合搜索可实现高效搜救和协同保障

海空无人协同系统主要包括无人艇（USV）和无人机（UAV），此系统内自主体间具有不同的动力学模型，因此属于异质多自主体系统。该系统的特点是可以利用不同个体的优势形成更强的多维空间信息感知能力，完成更复杂的

工作。例如，无人机的局限在于续航时间短，但是具有搜索范围大和通信距离远的优点；无人艇续航时间长，但是搜索范围小和通信距离近。如果结合二者的优点，构成异质多自主体协同系统，就可大大提升系统完成复杂任务的能力。在海事救援中，无人艇的搜救范围很有限，通过无人机就能大大扩展搜救范围。

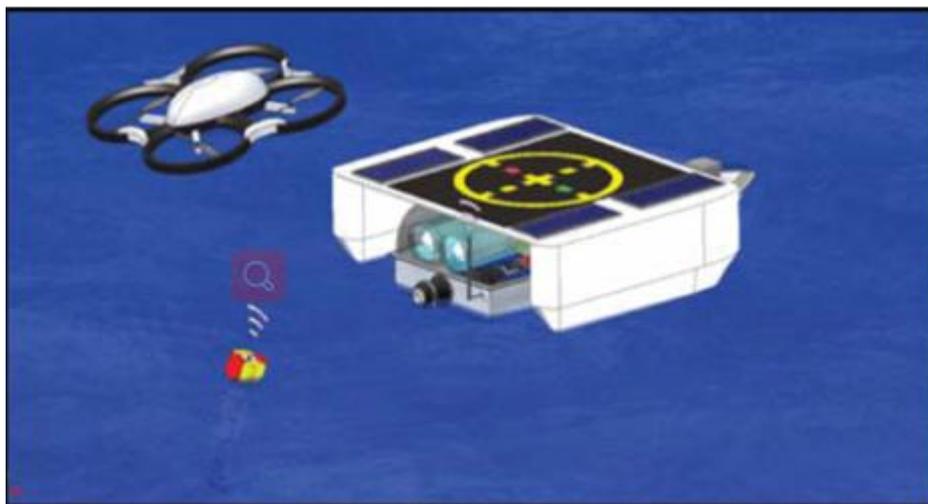


图 1-5 海空协同搜救

#### 1.4 可实现半自助式救助

在传统的救援方式中，救助人员先搭乘救助艇靠近遇险人员后将上身探出艇外把遇险人员拉上救助艇，或者用绳子采用马项套的方式将遇险人员提拉上救助艇。在海浪等因素的影响下，这些方式都容易造成救助人员和遇险人员的身体伤害。海空联合搜救无人船可实现半自助式救助。首先，该无人艇可抛射救生缆和释放浮筒，施救人员在母船上遥控指挥，避免施救人员进入危险海域，保障了施救人员的生命安全；其次，无人船的科学救援方法，突破了传统人工绑绳救援的局限性，采用多层次的救援设施，保护遇险人员免受机械损伤。

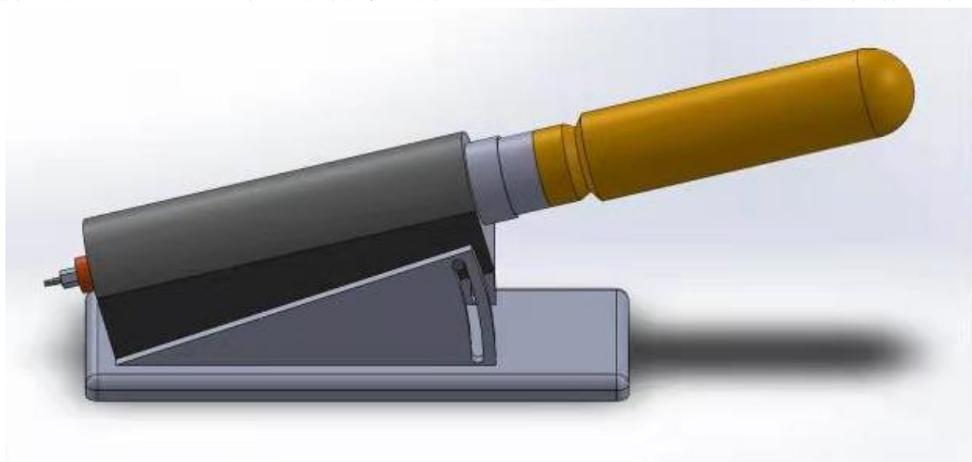


图 1-6 救生浮筒及其发射器建模图

#### 1.5 利用北斗系统实现实时定位及其短报文功能实现信息传递

本项目采用北斗系统有源定位方式实时定位无人机和搜救船的精确位置。当无人机搜寻并识别到搜救目标时，飞至目标上空对目标进行实时监控，并利用短报文功能将自身的位置信息发送给无人搜救船；搜救船获取目标定位信息后，与自身航行过程中的位置坐标进行对比计算，得出应走方向以及路程，并以目标定位信息为准，实时对自身规划路径进行偏差修正，实现最快路径到达施救现场。提高救援效率。

## 1.6 总结

综上所述，得到海空联合无人搜救船的基本运作流程。首先由母船携带无人艇向失事目标靠近，在母船到达无人艇作业范围内时，释放无人机和无人艇。其次，当无人机搜索识别到遇险目标时，对其实时观测和跟踪并通过北斗短报文功能将自身实时精确位置发送给无人艇，配备救援设备的无人艇以适当速度驶向遇险目标附近。再次，无人艇在低速状态下调整好艏向角，看准时机抛射救生缆或者释放浮筒，把遇险人员拖曳到无人艇舷侧后，用柔性救助吊篮将遇险人员救捞至无人艇，提供必要的生命支持。最后，无人艇安全返航，到达母船处时施救人员将无人艇回收，并对遇险人员提供必要的救治。

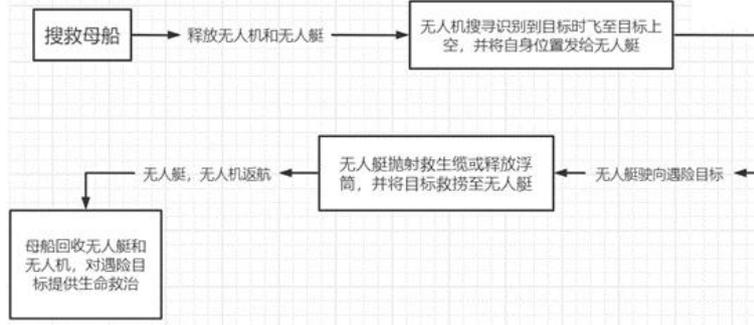
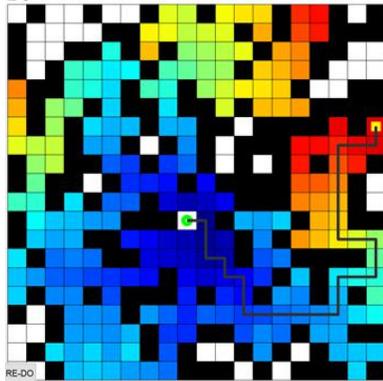


图 1-7 海空联合无人搜救船搜救流程

## 2 功能概述

无人艇在母船上被释放后，通过导航定位分析出最优路线，并找到大致地点，途中对路况进行分析，遇到礁石等障碍自动避让。无人机和无人艇对失事地点附近进行搜索识别，进行准确环境定位，无人机摄像头采集到的信息可实时上传到母船相关人员的显示终端，并判断是否采取进一步行动。

表 1 搜救无人艇功能表

功能	内容	图解
路径规划与避障	通过解析电子海图文件，提取其中的海域地理情况及碍航物位置等信息，建立由可航行网格和不可航行网格组成的环境模型。在此基础上，综合考虑航行安全性、航行距离、路径平滑度等因素，采用基于航行代价寻优的改进 A*算法来搜索环境模型中的最优路径，实现水面无人艇的全局航路自主规划。此外采用激光模块实时探测海图上没有的障碍，作为辅助避障功能。	
被困对象环境的识别和判断	无人机通过捕捉救生衣图像来识别（受困人员的识别与判断）	

北斗导航定位 无人艇，无人机的精确位置坐标、路线以及搜救目标都可以通过北斗系统确定。



实时信息传递和处理 摄像头可以将拍到的情况实时传送到电脑终端，供母船的相关人员观察分析，是否采取进一步行动。无人机可用北斗短报文功能将自身精确位置发给无人艇。



### 3 作品解析

#### 3.1 机械结构

##### 3.1.1 船形设计

通过 SolidWorks 进行建模，在设计过程中参考了 022 导弹艇进行设计，思考寻找其高速减阻的优点，结合优点进行创新设计，得到我们的新型减阻槽道双体船形。

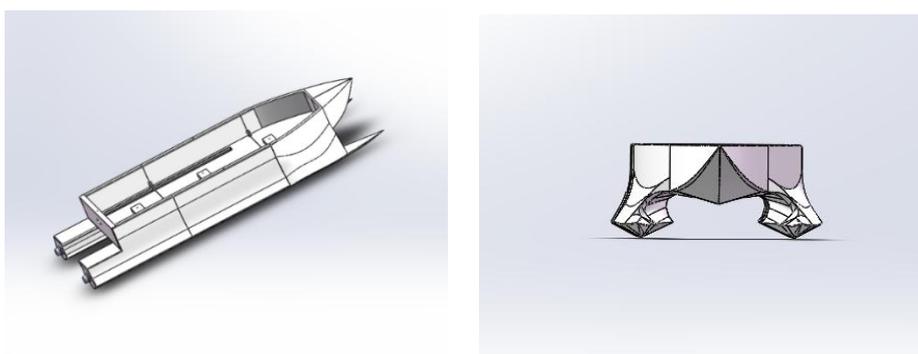


图 3-1 船体 SolidWorks 建模图

在设计过程中，团队通过 Fluent 进行仿真模拟，对设计船型进行仿真。根据分析后所得其受力情况，通过迭代的方式不断改变船型与槽道，以获得最优解，即最终确定高速减阻船型设计。

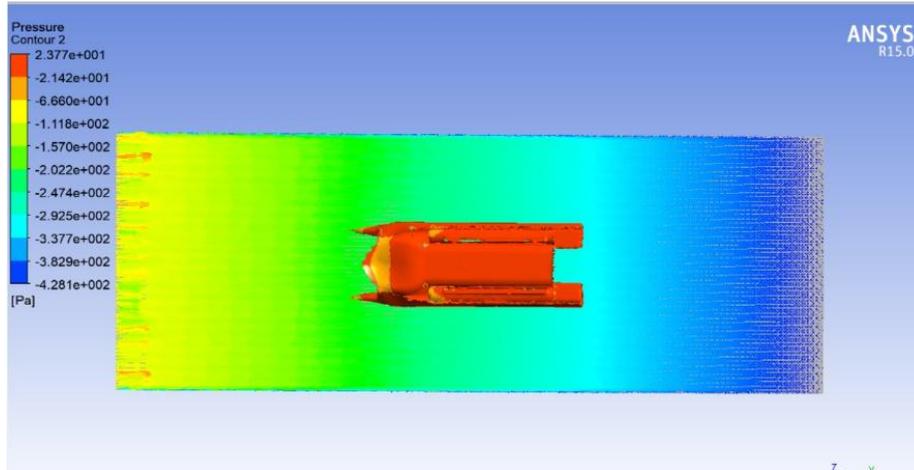


图 3-2 Fluent 软件仿真模拟图

在确定设计后，团队与相关厂商联系制作出实物模型，通过在水池中进行相关减阻实验，所得数据如下：

表 1 减阻实验数据表

实船速度 (m/s)	低速	高速
单体船模阻 (kgf)	15.1	18.5
双槽道船模阻 (kgf)	15.0	16.5
双槽道减阻百分比%	0.6	10.8



图 3-3 实物模型测试图

对减阻实验数据进行分析，可得出本设计在船体高速航行时相较于传统单体船减阻效果明显。

### 3.1.2 双动力系统

在对常规船只推进方式进行了了解与学习，并结合船只设想的应用场景需求，团队最终确定采用双喷水推进器航行作为推进方式，船只转向考虑利用两只水流的差速来完成，灵活性高。

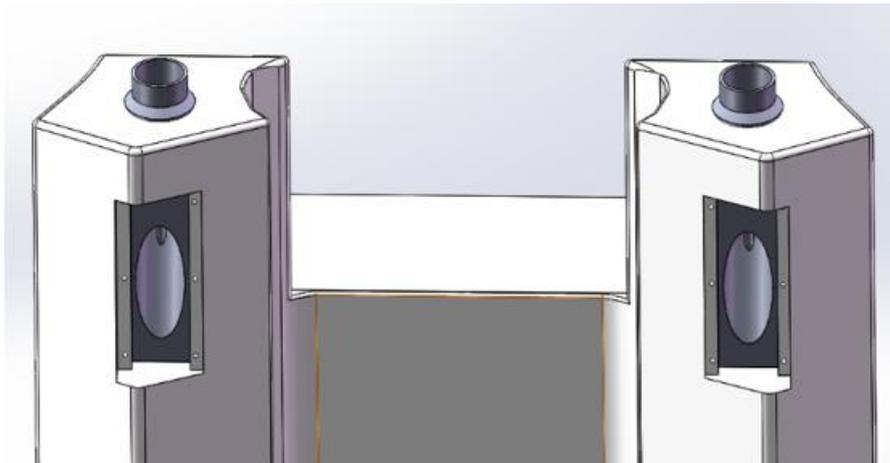


图 3-4 动力部分 SolidWorks 建模图

推进机构的喷射部分浸在水中，利用喷射水流产生的反作用力驱动船舶前进，操纵性能好，特别是对于泥沙底的浅水航道，喷水推进器具有良好的适应性。

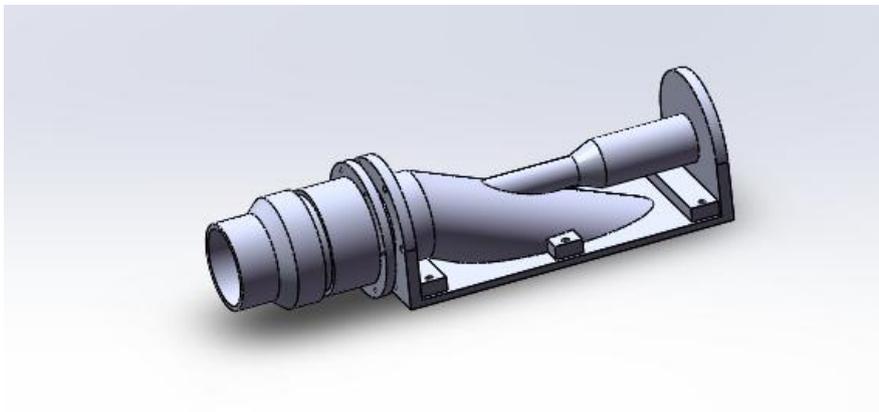


图 3-5 推进机构设计建模图

### 3.2 核心电路模块介绍

#### (1) 主控制电路芯片

主控芯片：STM32F103VCT6

功能：无人船的核心控制电路芯片，对来自各传感器的信号数据进行处理，并向各个电机等输出控制信号，完成与上位机的通信。



图 3-6 STM32F103VCT6

#### (2) 北斗定位模块

名称：ATK1218-BD  
定位芯片：S1216  
定位精度：2.5mCEP



图 3-7 北斗定位模块

(3) 无线遥控模块

功能：传输信号，无线遥控，在与搜救目标到达一定距离后可进行无线遥控救援，人工操作更精确。

遥控距离：500-700m（样船用，有更高需求可更换）



图 3-8 无线遥控模块

(4) OpenMV 摄像头模块

型号：OPENMV4H7 PLUS

最大像素：2952\*1944（5MP）

功能：实时采集周边环境图像，对目标信息进行扫描识别。



图 3-9 OpenMV 摄像头模块

(5) 传感器模块

芯片：MK66FX1M0VLQ18

功能：捕捉各角度红外线，进行相应信号处理并分析，可计算出。

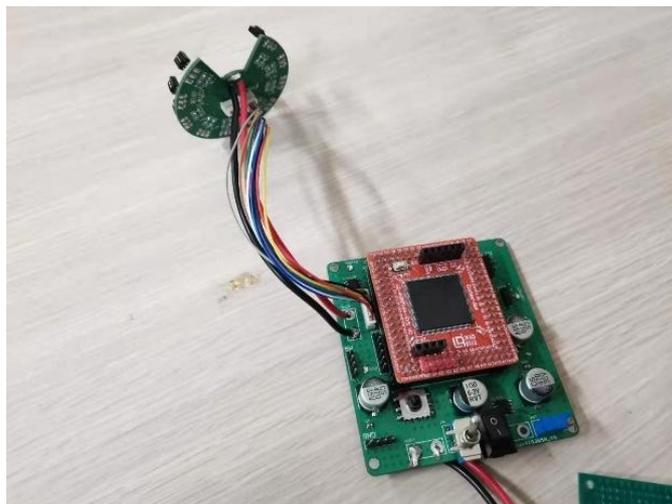


图 3-10 传感器模块

### 3.3 北斗模块专题介绍

海空联合无人搜救船所采用的北斗模块为 ATK1218-BD 北斗定位模块，具有尺寸小（25mm\*27mm），更新速率快（20Hz）等特点，可外接有源天线，30 秒内即可定位。且模块自带后备电池，可保存星历数据，在意外断电后半小时内维持数据保存并重新上电，在几秒内定位。经过实测，该模块的定位精度在户外可达到 3m 左右，可满足无人搜救船的定位要求。

北斗模块具体应用方式：通过北斗定位可实时获得无人机与搜救船各自的经纬度坐标；首先派出无人机进行搜寻，在无人机锁定施救目标之后，飞至目标上空对目标进行实时监控，并通过短报文将自己的经纬度信息发送给无人搜救船；搜救船获取目标定位信息后，与自身航行过程中的位置坐标进行对比计算，得出应走方向以及路程，并以目标定位信息为准，实时对自身规划路径进行偏差修正，实现最快路径到达施救现场。

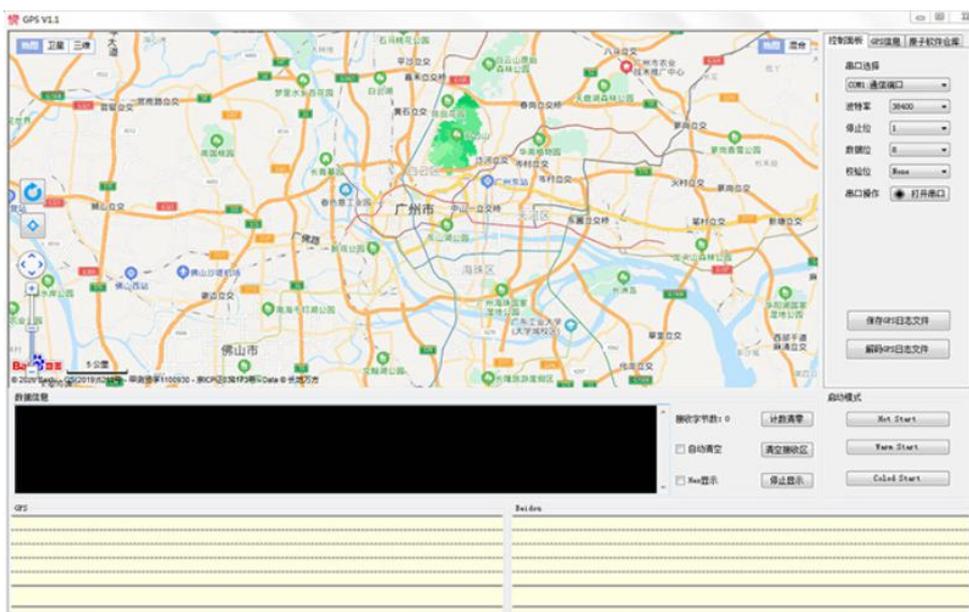


图 3-11 北斗定位测试软件界面

## 4 应用前景

在建设海洋强国的大背景之下，国家对于海洋自然资源勘探与开采、海洋旅游业、海上交通发展等与海洋息息相关的产业都有着持续的投入，以促进国家对海洋的开发，故与之配套的海上搜救必将在大方向的指引下，随着科技进步而不断发展，完成对海洋开发设施建设及运营、海上交通运输、沿海娱乐过程的应急情况以及飞机失事等事件中的落水人员搜救以及物品打捞，为海洋开发提供保障。



图 4-1 多种情况下的海上救援

海上搜救的不可预测性相较于陆上搜救更高，因此它的难度也更大，会给搜救人员带来更高风险；中国交通部门也一直致力于如何能在第一时间给出最快最正确的海上搜救方案。当今时代，越来越多科技在向着无人化方向发展，海上搜救方面也在不断尝试，避免造成新的人员伤亡。本无人搜救船在该方向有着广阔前景。



图 4-2 无人海上救援前景设想

随着人工智能、大数据技术、北斗导航等先进技术的发展与应用，本无人搜救船会进一步在功能以及适用场景种类方面进行完善与提升。通过适当加装减摇鳍，提升无人搜救船的海况适应能力；优化对施救目标的检测能力，可以在水面中快速、准确确认施救目标，实现快速救援；在当下“由水面转水下”的无人船发展趋势下，以水面无人搜救船（USV）为基础，开发设计水下无人救援机器人（AUV）；结合模块化思想，通过跟换所携带的设备模块，可以使得无人船实现多种功能，例如搭载相应探测设备以实现对事发海域的水下地形探测或者海况记录等。

无人机与无人艇的海空联合还可应用于军事巡逻：围绕海洋利益的领土争端频发，原有的海军侦查效率和范围难以及时发现敌情，因此设计一款具有高效率与范围侦查的无人艇便十分必要，海空联合扩大侦察范围。其减阻节能的

优点也符合当今节能减排的设计要求，经济实用性高。必要时通过修改程序，完成民用转军用。



图 4-3 传统海空联合巡逻

上述海空联合无人搜救船的前景都与国家的海洋开发战略密不可分，符合当下科技发展方向，并且加之有我国自主研发的北斗卫星导航系统的定位与一定的通信支持，摆脱对国外卫星导航系统的依赖，助力海上无人救援发展自主化，为国家海洋开发提供强有力的支持与保障。

## 5 技术报告（技术参数）



图 5-1 无人搜救船总体功能图

## 5.1 实时定位与信息传递

### 5.1.1 实时定位

能实时得到无人艇、无人机的精确位置坐标是本项目功能实现的关键之一。精确定位也是无人艇、无人机完成导航任务的关键。例如，需要实现无人机的实时监控和无人艇的自主巡航功能，此外还需要实现对搜救目标的识别功能。

本项目采用北斗卫星导航系统中的有源定位方式进行定位，即用户先向地面控制中心发送请求，控制中心接收请求，由控制中心进行距离测量和用户位置计算，并将定位结果反馈给用户，又称为非自主式定位或被动定位。

在定位过程中，需要用户接收空间段发来的信号，自行处理计算出位置信息，其工作流程原理如下：

设用户接收机的空间位置三维坐标为 $(x_0, y_0, z_0)$ ，时间参数为 $t_0$ ，伪距测量方程为：

$$p_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} + ct_0 = f(x_0, y_0, z_0, t_0)$$

其中， $p_i$ 是伪距的观测量；其中*i*是指不同的卫星参数，可取1,2,3,4...；设为北斗用户接收模块的近似位置， $t_0$ 为时间偏差估计值，则得近似伪距方程为：

$$p_i = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_0)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_0)^2 + (\bar{z}_i - \bar{z}_0)^2} + ct_0 = f(\bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0, t_0)$$

通过增量值和近似的参数值，得到用户位置和时钟偏差的方程组：

$$\begin{cases} x_0 = \bar{x}_0 + \Delta x \\ y_0 = \bar{y}_0 + \Delta y \\ z_0 = \bar{z}_0 + \Delta z \end{cases}$$

空间位置和近似位置之间的距离可用 $(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0)$ 表示，于是得：

$$f(x_0, y_0, z_0, t_0) = f(\bar{x}_0 + \Delta x_0, \bar{y}_0 + \Delta y_0, \bar{z}_0 + \Delta z_0)$$

整理得：

$$\Delta p = \bar{p}_i - p_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_0}{\bar{r}_i} \Delta x_0 + \frac{\bar{y}_i - \bar{y}_0}{\bar{r}_i} \Delta y_0 + \frac{\bar{z}_i - \bar{z}_0}{\bar{r}_i} \Delta z_0 - c \Delta t_0$$

其中：

$$\bar{r}_i = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_0)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_0)^2 + (\bar{z}_i - \bar{z}_0)^2}$$

简化公式，令

$$m_{xi} = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_0}{\bar{r}_i}, m_{yi} = \frac{\bar{y}_i - \bar{y}_0}{\bar{r}_i}, m_{zi} = \frac{\bar{z}_i - \bar{z}_0}{\bar{r}_i}$$

则指向第*i*号卫星单位矢量可表示成 $(m_{xi}, m_{yi}, m_{zi})$ ，那么有：

$$\Delta p = m_{x_i} \Delta x_0 + m_{y_i} \Delta y_0 + m_{z_i} \Delta z_0 - c \Delta t_0$$

最终解方程得：

$$\Delta x = h^{-1} \Delta p$$

其中：

$$h = \begin{bmatrix} m_{x1} & m_{y1} & m_{z1} & 1 \\ m_{x2} & m_{y2} & m_{z2} & 1 \\ m_{x3} & m_{y3} & m_{z3} & 1 \\ m_{x3} & m_{y4} & m_{z4} & 1 \end{bmatrix}$$

最后，通过计算得出的用户位置为 $(x_0, y_0, z_0)$ 和用户终端的时钟差为 $t_0$ 。

### 5.1.2 位姿的控制

无人艇自主导航控制系统以 32 位微控制器 STM32F103VC 为核心控制单元，采用集成三轴陀螺仪、三轴加速度计的姿态板 MPU6050 和 HMC5883L 三轴磁力计作为无人艇的姿态测量系统，北斗导航模块组成无人艇的位置测量系统。各模块通过 I2C 总线与主控制器通信，主控制器将姿态测量系统采集到的原始数据进行融合处理，通过数据解算得到当前无人艇的航向角、俯仰角和横滚角，姿态和位置数据通过 PID 控制器运算输出相应的 PWM 信号驱动舵机，从而实现无人艇位置与航向的控制。

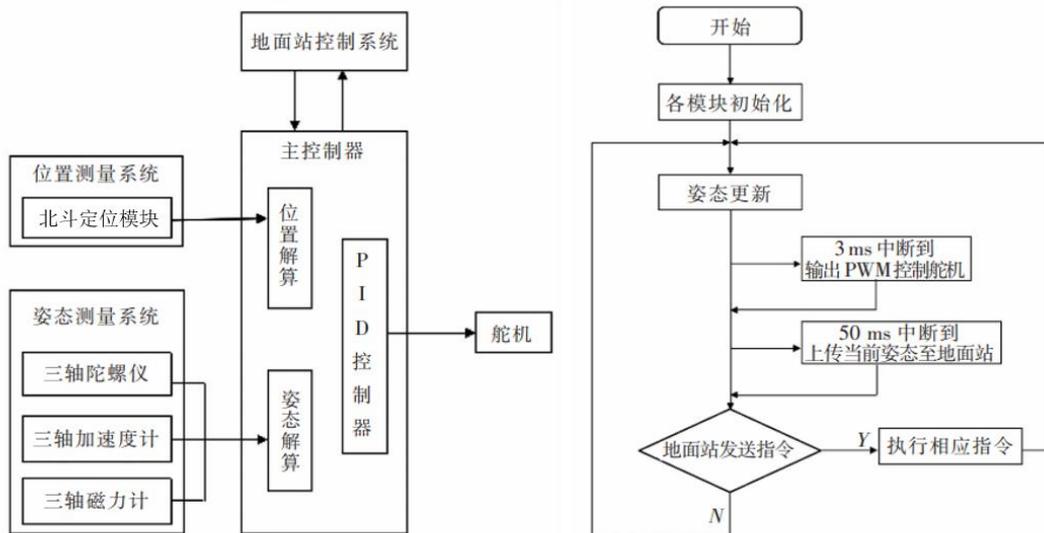


图 5-2 导航系统工作流程示意图

### 5.1.3 利用短报文进行信息的传递

将北斗系统的短报文通信功能与定位功能相结合，无人机接收到指令后，到达指定区域进行对受困人员、船只等受困对象进行扫描，在无人机锁定施救目标之后，飞至目标上空对目标进行实时监控，并将自己实时的经纬度信息利用短报文功能将此信息传递给无人艇，无人艇收到信息后前往标记出的地点进行搜救。

短报文大体的工作流程如下：

(1) 短报文发送方首先将经加密后的通讯信息内容与接收方 ID 号通过卫星转发，发送到地面中心站；

(2) 地面中心站接收到通信申请信号后，将信号解密后再加密，加入持续广播的出站广播电文中，卫星广播给用户；

(3) 接收方用户终端收到出站信号后，经过解调、解密出站电文，获得消息内容，完成一次通信。短报文通讯的传输时延约为 0.5 秒，通信最高频度是 1 秒 1 次。



图 5-3 北斗系统短报文工作流程示意图

## 5.2 无人艇的路径规划与避障

### 5.2.1 基于电子海图的水面无人艇全局路径规划

无人艇在接受到指令后如何快速安全到达指定地点是一个关键性的问题。全局路径规划是 USV 研究的关键技术，它可以反映出 USV 的智能程度。这里采用基于电子海图的 USV 全局路径规划方案。分为电子海图解析、全局环境模型建立和路径搜索算法三部分。

水面无人艇全局路径规划系统无法直接利用电子海图进行自主路径规划，所以需要研究矢量电子海图 S-57 数据结构，提取出全局路径规划需要的海洋环境信息，裁剪无关数据，将电子海图转换为全局航路规划系统能够直接使用的信息。其中，利用开源的 TinyXML 库保存到 xml 文件中，供路径规划系统的后续分析和处理。

在提取得到电子海图 xml 文件后，通过网格化的方法把感兴趣区域划分为若干块大小相等的矩形网格，然后利用 Shapely 开源地理库依次判断网格中是否存在从电子海图中解析的静态障碍物（如陆地、海岛、浅滩），从而将网格环境地图划分为可航区域和不可航区域。

在实现环境建模后，全局路径搜索算法优化的目标是在确保航行安全性的前提下，尽可能使规划的路径航行代价最小，最大程度地减小与最短路径、最小航行代价无关的计算量。这里，为了避免在网格环境下，出现阶梯或者锯齿状路径的情况，不会直接把 A\* 算法搜索得到的节点顺序连接起来作为水面无人艇的全局规划路径。为了得到两点间的期望路径，提出去除多余航点的曲线平滑算法，在保证安全的前提下减少路径中不必要的航点，使多段折线化为直线，增加路径的光滑度。这样规划的路径会更加符合起止点之间的期望路径，符合水面无人艇的运动学特性。

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib import cm
from shapely.geometry import Polygon # 比较多边形交叉
import collections
import heapq # heapq是一种子节点和父节点排序的树形数据结构
from math import isnan
from collections import Iterable
import json
import copy

# 类似于struct
Point = collections.namedtuple("Point", ["x", "y"])
OffsetCoord = collections.namedtuple("OffsetCoord", ["row", "col"])
SquareProperty = collections.namedtuple("SquareProperty",
                                       ["offsetCoord", "centerPoint", "cornerPoints", "weight", "squareSize",
                                        "isNavigonal"])

square_directions = [OffsetCoord(1, 1), OffsetCoord(1, -1), OffsetCoord(-1, -1), OffsetCoord(-1, 1)]
square_Neighbordirections = [OffsetCoord(0, -1), OffsetCoord(0, 1), OffsetCoord(-1, 0), OffsetCoord(1, 0),
                             OffsetCoord(1, 1), OffsetCoord(1, -1), OffsetCoord(-1, -1), OffsetCoord(-1, 1)]
square_directions = [OffsetCoord(1, 1), OffsetCoord(1, -1), OffsetCoord(-1, -1), OffsetCoord(-1, 1)]
square_Neighbordirections = [OffsetCoord(0, -1), OffsetCoord(0, 1), OffsetCoord(-1, 0), OffsetCoord(1, 0),
                             OffsetCoord(1, 1), OffsetCoord(1, -1), OffsetCoord(-1, -1), OffsetCoord(-1, 1)]

# 得到某区域正方形网格的所有属性
def SquarePro(ullong, ullati, squaresize, squareColumn, squareRow):
    savesquareprolist = []
    rowCount = 0
    while rowCount < squareRow:
        centerY = ullati - (rowCount + 0.5) * squaresize # 中心点纬度

```

图 5-4 建立环境模型部分代码

```

try:
    import xml.etree.cElementTree as ET
except ImportError:
    import xml.etree.ElementTree as ET
import sys
from pylab import figure
from mpl_toolkits.basemap import Basemap
from matplotlib.collections import LineCollection
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib import cm
from shapely.geometry import Polygon # 比较多边形交叉
import collections
import heapq # heapq是一种子节点和父节点排序的树形数据结构
from math import isnan
from collections import Iterable
import json
import copy
import GeometryBase

# 类似于struct
Point = collections.namedtuple("Point", ["x", "y"])
OffsetCoord = collections.namedtuple("OffsetCoord", ["row", "col"])
SquareProperty = collections.namedtuple("SquareProperty",
                                       ["offsetCoord", "centerPoint", "cornerPoints", "weight", "squareSize",
                                        "isNavigonal"])

```

图 5-5 改进 A\*算法和路径平滑处理部分代码

## 5.2.2 激光辅助避障

此外，在上述方法的基础上，引用激光测距模块进行辅助工作，对周围环境进行检测，在设定好的检测距离内如接收到反射信号，证明前方有障碍物，

之后通过信号对无人艇进行姿态的调节，来躲避海图上没有的船只、漂浮物等障碍。在躲避障碍物之后再回到原规划路径上继续巡航。



图 5-6 激光测距模块实物图

测量范围	0.05 ~ 40m	*(1)
分辨率	1mm	
测量精度	$\pm(1.5\text{mm}+D*\text{万分之}5)$	*(2)
数据输出率	连续测量模式: 1~10Hz (通常 5Hz) 快速连续测量模式: 10Hz/20Hz	*(3)
激光类型	630~670nm, Class II, <1mW	
指示光	红色激光	
操作模式	单次数据/持续数据/外部触发	
连接器	6PIN 2.54mm 双列排针/孔 5PIN 2.54mm 单列针/孔	
数据接口	UART(3.3V LVTTL)	
通信协议	MODBUS_RTU ASCII CUSTOM_HEX	
供电电源	+5VDC	
功耗	<0.6W	
工作温度范围	-15° ~ 50°	
储存温度范围	-20° ~ 60°	
存储湿度	RH85%	

图 5-7 激光测距模块技术参数

## 5.3 被困对象的识别和判断

### 5.3.1 无人机对受困人员的识别

软件设计:

目标检测与识别技术作为搜救无人艇 (un-manned surface vessel, USV) 系统的关键环节, 其主要任务是从获取的水面图像中准确地判断每个目标的具体类别并标出目标边界框, 但是由于水面波浪造成的遮挡、视角, 以及天气等因素造成检测率低下。这里采用基于 CNN 的水面目标检测方法 CNN 应用到水上救生衣检测领域。因卷积神经网络 (convolutional neural networks, CNN) 通过充分利用数据本身包含的局部性特征, 能够保证一定程度上的位移和变形的不变性。在救生衣检测领域中, CNN 既可以自主提取图像特征并进行特征学习, 同时又可以采用基于颜色特征的救生衣定位方法。这样便避免了复杂的特征提取过程, 且定位耗时短, 有助于实现救生衣的快速定位。

算法分为两过程, 即离线 CNN 特征训练过程和在线救生衣实时检测过程, 算法流程示意图如下。

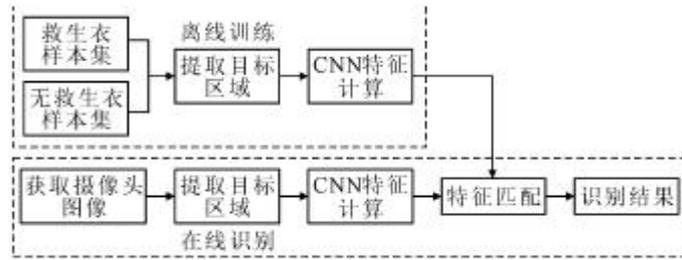


图 5-8 算法流程

此外，为更好发挥 CNN 在目标分类上的优势，采用颜色特征的目标区域定位方法，将救生衣图像分割，最后采用 VGG-F 网络模型对水面图像进行特征提取与识别。在实际应用下，采用多目标检测方法的识别率高，能有效识别水面救生衣。

#### 硬件设计：

**星瞳 OpenMV 摄像头：**OpenMV 摄像头是一款低功耗、低成本、功能强大的摄像头模块，基于 OpenMV 摄像头，能够很容易地实现机器视觉（machine vision）应用。摄像头采用的是标准的 M12 镜头，因此，项目人员可以根据实际使用的需要以及使用效果来更换不同焦距的镜头。OpenMV 模块自带多路 I/O 口，可搭载在舵机云台上，通过舵机驱动板驱动舵机，实现可控的摄像头旋转等功能，从而采集到多方向的图像数据。

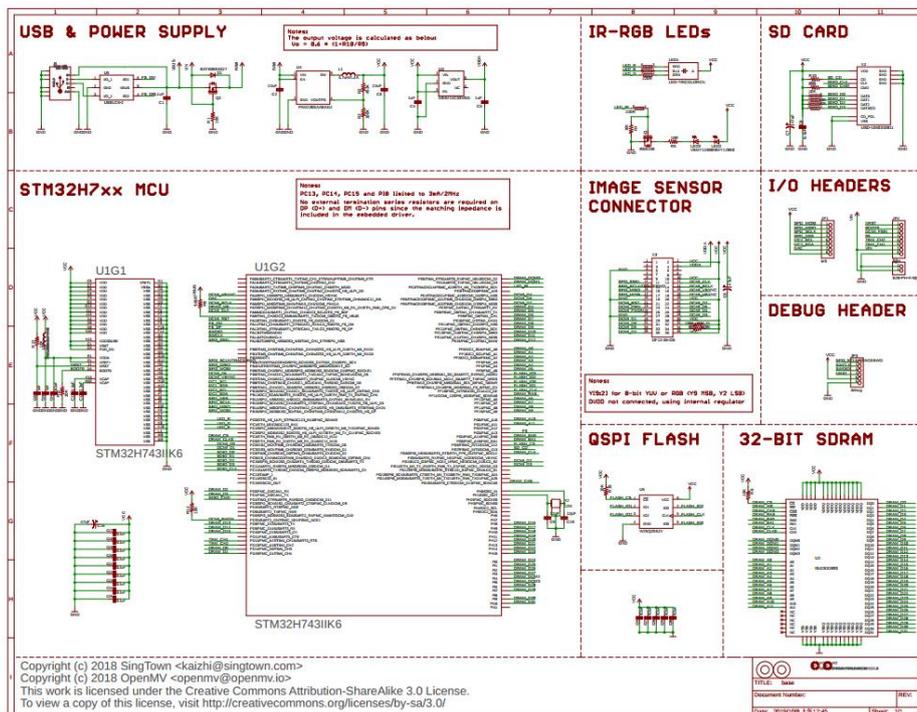


图 5-9 摄像头电路图

### 5.3.2 实时追踪与监测

在无人机对目标完成识别后，将保持在目标上方进行实时的监测，考虑到水流，风等因素目标不会保持静止，所以，这里在上述捕捉对象方法的基础上加入循环模块对目标保持持续的探测，从而达到追踪的目的。

## 5.4 救生艇救助的实施

在通过短报文功能接收到无人机所发送的经纬度信息后，无人搜救船搭载救援设备以适当航速驶向遇险目标，直至安全到达距遇险目标抛缆射程范围内。首先，搜救过程中，无人艇救助的安全性及稳定性高于其快速性，为了避免在恶劣海况下由于高速带来的不稳定性对遇险人员造成二次伤害，无人艇不应以过高的速度驶向遇险人员。再次，搜救船在低速状态下调整好艏向角，通过控制调整抛缆云台俯仰角以及朝向角看准时机抛射救生缆。为防止因第一次抛射失误导致搜救失败问题，提高搜救成功率，会安置两台抛射装置以使得救生缆有两次抛射机会。等遇险人员抓住并将其系在身上，通过绞车回收救生缆将遇险人员拉至无人艇一侧。如若风浪涌较大，搜救船可释放挂载的浮筒辅助救援。由于螺旋桨易造成遇险人员二次伤害，且遇险人员在冰冷海水中呆久了心脏会停跳导致全身器官衰竭甚至死亡，这里不采用救生圈或者带螺旋桨的遥控救生圈，而是采用浮筒，遇险人员上体可以趴在浮筒上。然后，将遇险人员拖曳到达无人艇舷侧通过柔性救助吊篮将其救捞至无人艇，提供必要的生命支持。最后，搜救船安全返航，到达母船处将无人艇回收对遇险人员提供必要的救治。



图 5-10 无人救助装备及逻辑关系图

## 总结

基于北斗卫星导航系统的海空联合无人搜救船，本作品将现代无人技术与传统海上搜救技术相结合，在搜救模式，救助模式，受困人员识别等方面做出改良。在技术上，本作品做出了许多重要突破。通过北斗导航实现对无人艇位姿的控制、利用其短报文功能完成机艇之间的信息传递，基于电子海图实现水面无人艇全局路径规划，基于卷积神经网络实现目标识别，通过救援设备控制实现对被困人员的救助。对海上受困人员的救助，以及对救助人员的安全保障都有一定的实际意义。但本项目仍有技术问题待突破，如在救援环境复杂时，如何提高抛救生缆的成功率，增大搜救的容错率，机艇之间如何更好的协调配合来高效的完成难度很大的海上救援任务，以及无人艇如何更好的在恶劣环境中维持稳定姿态等。

---

### 参考文献

- [1] 方超. 基于北斗的无人船艇的数据传输系统研究[D].集美大学,2017.
- [2] 刘梦佳,冯辉,徐海祥,余文墨,李文娟.基于 CNN 的搜救无人艇水面多目标检测实验[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2019,43(05):910-913+919.
- [3] 单希明,刘蓟南,张千宇.基于单片机的红外避障与循迹智能小车[J].湖北农化,2019(09):76.
- [4] 谭西都. 搜救无人艇航速及航向控制研究[D].浙江大学,2019.
- [5] 徐小斌,段海滨,曾志刚,邓亦敏.无人机/无人艇协同控制研究进展[J].航空器,2020,27(06):1-6.
- [6] 张玉婷,陈褒丹,任佳,Vladimir Shikhin.基于 STM32 的无人艇自主导航控制系统的设计[J].海南大学学报(自然科学版),2016,34(03):221-227.
- [7] 程杰,陈姚节,刘志峰.基于 A~\*算法优化的无人水面艇路径规划[J].科学技术与工程,2019,19(29):201-206.
- [8] Wang Y., Liang X., Li B., Yu X. (2018)Research and Implementation of Global Path Planning for Unmanned Surface Vehicle Based on Electronic Chart. In: Qiao F., Patnaik S., Wang J. (eds)Recent Developments in Mechatronics and Intelligent Robotics. ICMIR 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 690. Springer, Cham.

---

## 基于北斗导航的复杂地形无人机搜救平台

作者：杨宗洁、徐万芳、黄鹏、王佳雯

指导教师：江启峰

学校：西华大学航空航天学院

---

**【摘要】**：近年来我国森林火灾、驴友失踪、自然灾害频发，而在救援时又时常会遇到信号丢失、救援范围太广、路径不明确、地形复杂等因素影响救援时效，甚至造成二次人员伤亡，为更大效益的提高救援效率，减少人员伤亡，本文设计了一种能迅速组网，快速分析的应急救援无人机空中协作平台；本平台利用北斗导航系统进行区域内无人机组内通信，无人机组通过搭载的5G小基站进行范围内5G组网覆盖信号，实现区域内信号通信，运用蛛网算法及信号捕捉对域内信号波动进行捕捉，上传给北斗导航卫星，运用北斗导航系统对目标进行精确定位；无人机平台同时搭载热成像云台，利用温度分析搜寻人员和可能存有余火点；为实现户外救援所需的长续航性，无人机平台选择六旋翼布局，子无人机采用共轴双旋翼结构，同时采用油电混合动力系统，运用动力分配算法，使得无人机平台续航性能得以进一步提升，为实现无人机组整体续航的提升，无人机平台搭载无线充电技术，可以由无人机平台向子无人机进行空中充电，实现整体续航提升，为复杂地形长时间救援任务提供保障；无人机平台实现了在发生森林火灾、广袤地形、复杂地形救援时进行信号传输，人员搜救，路径规划作用，减少了大量人员投入，减少了救援时长和降低了人员伤亡风险，为应急救援提供强有力的帮助。

**【关键词】**：北斗定位导航，5G组网，无线充电，油电混合动力，子母无人机平台

**【Abstract】** in recent years, forest fires, missing hikers and natural disasters occur frequently in China. In order to improve rescue efficiency and reduce casualties, this paper designs an aerial cooperation platform for emergency rescue UAVs which can be quickly networked and analyzed quickly; The platform uses Beidou navigation system for in-area UAV communication, UAV through the carrying of 5 G of small base stations within the network coverage signal, achieve in-area signal communication, using cobweb algorithm and signal capture to capture signal fluctuations in the region, uploaded to Beidou navigation satellite, using Beidou navigation system to accurately locate the target; UAV platform with thermal imaging cloud head, using temperature analysis search personnel and possible residual fire spots; In order to realize the long-term continuity of outdoor rescue, the UAV platform chooses the six-rotor layout, the sub-UAV adopts the coaxial double-rotor structure, the oil-electric hybrid power system and the power distribution algorithm. In order to improve the overall life of UAV, the UAV platform can charge the sub-UAV by UAV platform, and provide guarantee for the long time rescue mission of complex terrain; The UAV platform realizes the function of signal transmission, personnel search and rescue, path planning in the event of forest fire, vast terrain and complex terrain

---

rescue, reduces a large number of personnel input, reduces the rescue time and reduces the risk of casualties, and provides powerful help for emergency rescue.

【 Key words 】 Beidou positioning navigation,5 G networking, wireless charging, oil-electric hybrid, sub-mother UAV platform

---

## 前言：社会背景

2019年3月，四川省凉山州发生森林火灾，着火点位于海拔3800余米左右的地方<sup>[1]</sup>，由于地形复杂、坡陡谷深，交通与通讯不便等诸多原因，这次森林火灾30人遇难。



图 0-1 救援地形复杂



图 0-2 森林火警实施救援

近年来，诸多地区出现洪涝、地震、山体滑坡和森林大火等自然灾害，严重威胁到人民群众的生命和财产安全，同时因为地形、通讯等诸多原因，增加了救援难度与风险。随着 5G 技术和无人机的飞速发展，利用无人机的三维飞行能力，采用优化方法规划路径，能够使其在救援任务中比地面车辆以更短的时间到达救援区域，提高救援效率，针对真实的地理环境，进行航线规划采取搜救工作。我们的项目通过设计出一个无人机平台搭载一队子无人机组，其中平台为 5G 基站暨小型空中充电站以增加空中续航时间，通过无人机群空中组网对区域内进行 5G 信号覆盖和信号捕捉处理反馈，为特殊地形，信号薄弱区搜救服务提供有力帮助。

## 1 创新方案

### 1.1 平台采用混合动力进行供能

对于救援平台来说，供能是持续作业的关键。混合动力是目前最有实用价值并有利于商业化的模式。本项目采用油电混合动力，将比较成熟的燃油多旋翼无人机进行改装，形成合理且最具优势的动力分配系统。

其中利用四冲程活塞油机驱动主螺旋桨转动，通过高速同步带减速运动系统驱动直流发电机转动从而产生电能<sup>[2]</sup>，输出电能进行稳压后转化为恒压能够为机载设备，锂电池充电并驱动电机转动。

### 1.2 组网方式采用蛛网算法

为了扩大网络覆盖范围，我们改变了以往的传统组网方式<sup>[3]</sup>。传统方式采用树状结构进行组网，虽然组网稍快但一旦某个设备出现问题，属于该链路下的所有设备都不能正常工作。而仿生蛛网构成的网络结构能够实现拓扑冗余的效果，并且设备的协同能力更强。

具体组网过程：1.无人机主平台发送组网广播，主平台作为第一逻辑层，计为中心节点 R1。2.记录人工控制的子无人机收到广播的逻辑 ID，生成路由表。（人工控制是指可以选择指定的子无人机进行组网工作及任务）3.收到广播的子无人机作为第二逻辑层的节点，可以继续随意选择其中一个节点作为下一层逻辑层的中心节点继续扩展网络拓扑结构。4.重复前面的组网广播，降低数据误码率。直到次逻辑层所有节点接入拓扑网络。

### 1.3 利用北斗系统的“有源定位”特性和短报文通信功能进行救援搜索

在我们的子无人机上将搭载信号捕捉模块，在救援过程中搜寻周边的信号，再通过无线电测定技术，利用两颗地球同步轨道卫星进行位置锁定。同时利用子无人机通过短报文将定位位置告知救援人员。

### 1.4 机组平台采用航母模式进行作业并创新采用底盘吸附甲板

无人机机组由主平台和子无人机构成，主平台为子无人机提供能源，建立信号输送<sup>[4]</sup>。子无人机可以在平台底部进行吸附，避免了升降可能带来的冲撞问题。提升了整体作业的范围和作用效果。同时通过凹槽吸附，环扣等方式在保证大功率充电稳定的前提下，实现短距离隔空充电，减少因为不精确导致的无法充电问题。



图 1-1 子无人机吸附图

## 2 功能概述

在洪涝、地震、山体滑坡和森林大火等突发情况出现时，无人机组通过北斗通讯导航定位到达指定地点，通过北斗定位系统对地形进行分析。无人机组进入后通过自身携带的 5G 可移动小基站，组成 5G 信号网络覆盖。并通过信号捕捉系统实现对灾区内的微弱信号进行搜寻。利用无人机的三维飞行能力，采用优化方法规划救援路径及风险评估，提高救援效率，针对真实的地理环<sup>[5]</sup>境，通过内部通讯网络搭建无人机组控制系统实时调配，救援指挥调度，进行航线规划采取搜救工作。同时无人机外挂红外线热成像相机搜救丢失人员或巡查余火。

表 2-1 无人机组主要功能

功能	内容
北斗通讯导航定位	无人机组通过北斗通讯导航定位到达指定地点，实现精确定位
5G 小基站可移动化实现信号覆盖	无人机组进入后通过自身携带的 5G 可移动小基站，组成 5G 信号网络覆盖
信号捕捉	通过信号捕捉系统实现对灾区内的微弱信号进行搜寻
救援路径规划及风险评估	利用无人机的三维飞行能力，采用优化方法规划救援路径及风险评估，提高救援效率
无人机系统实时调配	通过内部通讯网络搭建无人机组控制系统实时调配，救援指挥调度
红外线热成像相机搜救	无人机外挂红外线热成像相机搜救丢失人员或巡查余火

## 3 作品解析

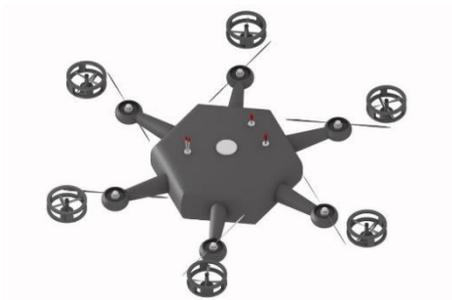


图 3-1 无人机组整体图

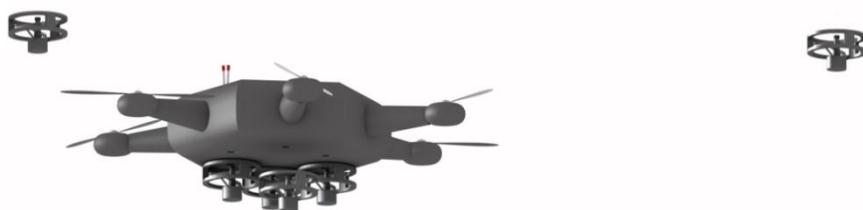


图 3-2 无人机组运行效果图



图 3-3 子无人机效果图

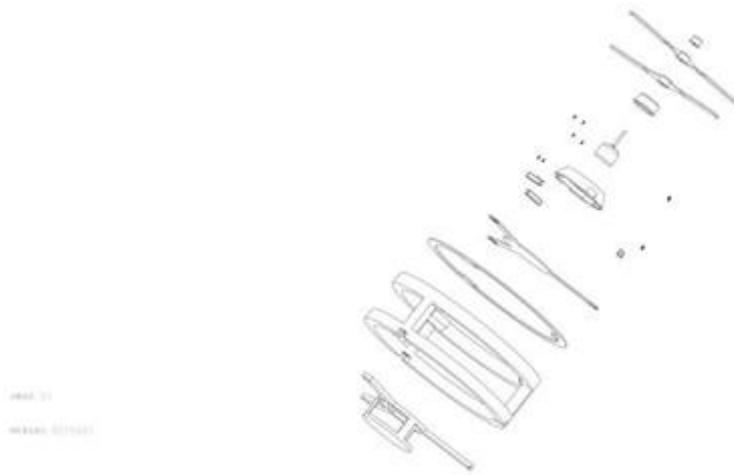


图 3-4 子无人机爆炸图

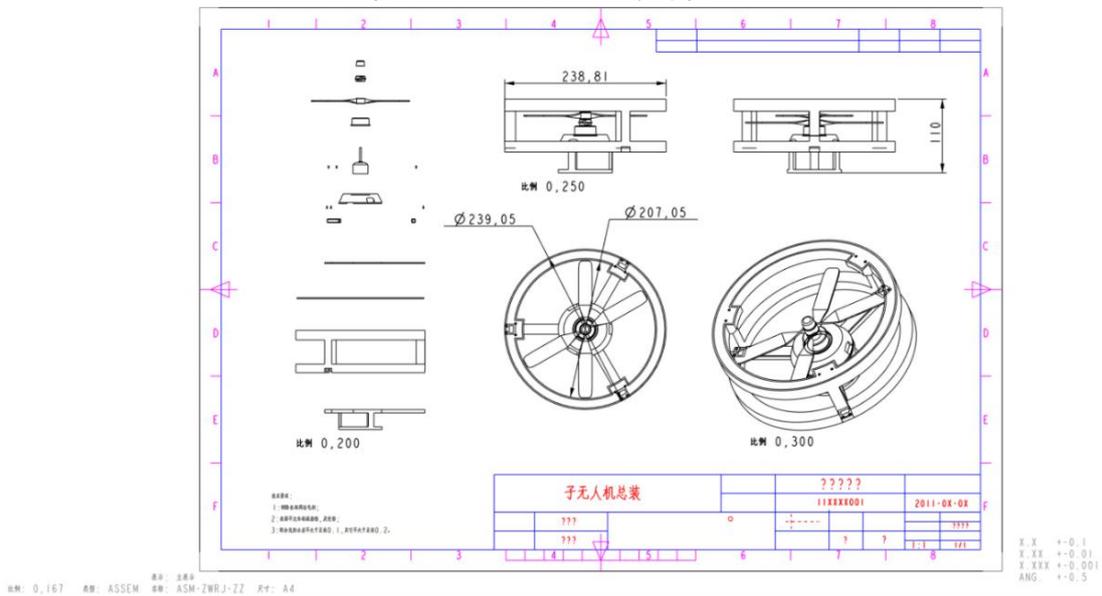


图 3-5 子无人机设计图

## 4 技术概要

本项目采用多种技术整合集成，主要技术为：蛛网算法、北斗通信导航定位、无线充电、5G 小基站覆盖组网、无人机组内部通信、油电混合动力、热成像摄像头。

## 4.1 蛛网算法

1. 蛛网算法属于群智能算法中的一种优化，本项目通过对蛛网的波动仿生，将蛛网方法运用于信号覆盖和捕捉中，进行蛛网算法编写和优化。

2. 具体组网过程:

3. 无人机主平台发送组网广播，主平台作为第一逻辑层，计为中心节点 R1。

4. 记录人工控制的子无人机收到广播的逻辑 ID，生成路由表。（人工控制是指可以选择指定的子无人机进行组网工作及任务）

5. 收到广播的子无人机作为第二逻辑层的节点，可以继续随意选择其中一个节点作为下一层逻辑层的中心节点继续扩展网络拓扑结构。

6. 重复前面的组网广播，降低数据误码率。直到次逻辑层所有节点接入拓扑网络。

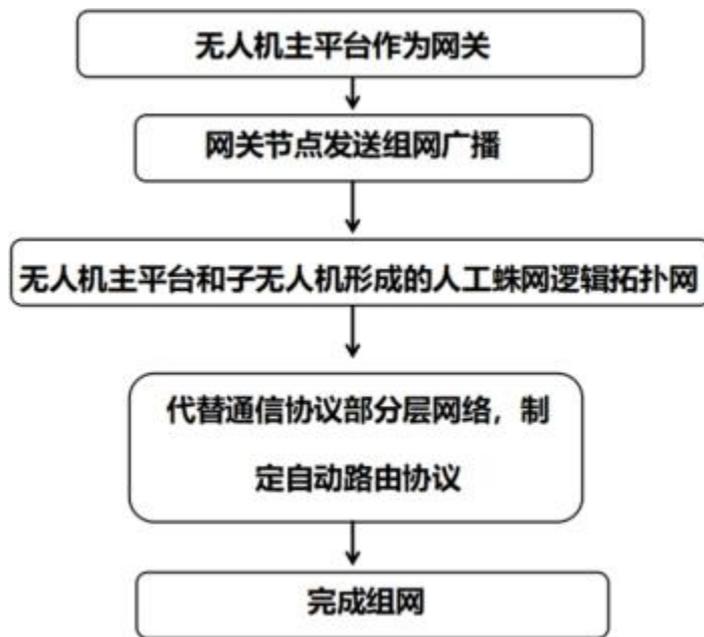


图 4-1 蛛网算法过程图

```
1 node spoke-point//蛛网中的辐
2 node spiral-point//蛛网中的弦
3 #define VERTEX_MAX 20 //图的最大顶点数
4 typedef struct edgeNode
5 {
6 int Vertex; //顶点信息,子无人机ip值
7 int weight; //权值
8 struct edgeNode *next; //指向下一个顶点指针 (当前顶点和指向的下一顶点构成一条边)
9 }gateway-platform; //平台网关节点
10 typedef struct
11 {
12 EdgeNode* AdjList[VERTEX_MAX]; //指向每个顶点的指针
13 int VextexNum,EdgeNum;
14 int GraphType;
15 ListGraph; //图的结构
16 void CreateGraph(ListGraph *G); //生成蛛网的邻接表
17 void OutList(ListGraph *G); //输出邻接表
18
```

```

1 node spoke-point//蛛网中的辐
2 node spiral-point//蛛网中的弦
3 #define VERTEX_MAX 20 //图的最大顶点数
4 typedef struct edgeNode
5 {
6     int Vertex; //顶点信息,子无人机ip值
7     int weight; //权值
8     struct edgeNode *next; //指向下一个顶点指针 (当前顶点和指向的下一顶点构成一条边)
9 }gateway-platform; //平台网关节点
10 typedef struct
11 {
12     EdgeNode* AdjList[VERTEX_MAX]; //指向每个顶点的指针
13     int VextexNum,EdgeNum;
14     int GraphType;
15     ListGraph; //图的结构
16     void CreateGraph(ListGraph *G); //生成蛛网的邻接表
17     void OutList(ListGraph *G); //输出邻接表
18
19     void CreateGraph(ListGraph *G)
20     {
21         int i,weight;
22         int start,end;
23         EdgeNode *s;
24         for(i=1;i<=G->VextexNum;i++)//将图中各顶点指针清空
25             G->AdjList[i]=NULL;
26         for(i=1;i<=G->EdgeNum;i++) //输入各边的两个顶点
27             {
28                 getchar();
29                 printf("第%d条边:",i);
30                 scanf("%d,%d,%d",&start,&end,&weight); //输入边的起点和终点
31                 s=(EdgeNode *)malloc(sizeof(EdgeNode)); //申请保存一个顶点的内存
32                 s->next=G->AdjList[start]; //插入到邻接表中
33                 s->Vertex=end; //保存终点编号
34                 s->weight=weight; //保存权值
35                 G->AdjList[start]=s; //邻接表对应顶点指向该点
36             }
37     }
38     void OutList(ListGraph *G)
39     {
40         int i;
41         EdgeNode *s;
42         for(i=1;i<=G->VextexNum;i++)
43         {
44             printf("顶点%d",i);
45             s=G->AdjList[i];
46             while(s)
47             {

```

```

26 for(i=1;i<=G->EdgeNum;i++) //输入各边的两个顶点
27 {
28     getchar();
29     printf("第%d条边:",i);
30     scanf("%d,%d,%d",&start,&end,&weight); //输入边的起点和终点
31     s=(EdgeNode *)malloc(sizeof(EdgeNode)); //申请保存一个顶点的内存
32     s->next=G->AdjList[start]; //插入到邻接表中
33     s->Vertex=end; //保存终点编号
34     s->weight=weight; //保存权值
35     G->AdjList[start]=s; //邻接表对应顶点指向该点
36 }
37 }
38 void OutList(ListGraph *G)
39 {
40     int i;
41     EdgeNode *s;
42     for(i=1;i<=G->VextexNum;i++)
43     {
44         printf("顶点%d",i);
45         s=G->AdjList[i];
46         while(s)
47         {
48             printf("-->%d(%d)",s->Vertex,s->weight);
49             s=s->next;
50         }
51         printf("\n");
52     }
53 }
54
55 #include <stdio.h>
56 int main()
57 {
58     ListGraph G; //定义保存邻接表结构的图
59     printf("输入生成图的类型(0:无向图,1:有向图):");
60     scanf("%d",&G.GraphType); //图的种类
61     printf("输入图的顶点数量和边数量:");
62     scanf("%d,%d",&G.VextexNum,&G.EdgeNum); //输入图顶点数和边数
63     printf("输入构成各边的两个顶点及权值(用逗号分隔):\n");
64     CreateGraph(&G); //生成邻接表结构的图
65     printf("输出图的邻接表:\n");
66     OutList(&G);
67     getch();
68     return 0;
69 }

```

图 4-2 蛛网算法部分代码展示

## 4.2 北斗通信导航定位

北斗卫星导航系统是中国着眼于国家安全和经济社会发展需要，自主建设运行的全球卫星导航系统<sup>[6]</sup>，是为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务的国家重要时空基础设施<sup>[7]</sup>。北斗导航系统可以通过 B2b 接口直接连入无人机平台，

同时可以启用北斗导航系统的国际搜救服务进行搜救型定位，下行信号主要提供给 COSPAS-SARSAT 地面站使用<sup>[8]</sup>。北斗中轨卫星搜救载荷的设计符合 COSPAS-SARSAT 的相关标准，并与其他中轨卫星搜救系统兼容，主要工作参数如表所示表

参数		兼容性要求	北斗搜救载荷设计
带通特性	正常模式	1dB > 80 kHz	1dB > 80 kHz
		3dB > 90 kHz	3dB > 90 kHz
		10dB < 110 kHz	10dB < 110 kHz
		45dB < 170 kHz	45dB < 170 kHz
		70dB < 200 kHz	70dB < 200 kHz
	窄带模式	1dB > 50 kHz	1dB > 50 kHz
		10dB < 75 kHz	10dB < 75 kHz
		45dB < 130 kHz	45dB < 130 kHz
转发器增益模式		/	ALC

图 4-3 北斗导航系统国际搜救服务载荷参数

反向链路消息使用 B2b 接口文件定义的 B-CNAV3 格式导航电文承载，包括基本 信息和基本完好性信息，每帧电文长度为 1000 符号位，符号速率为 1000sps，播发周期为 1 秒。基本的帧结构定义如图

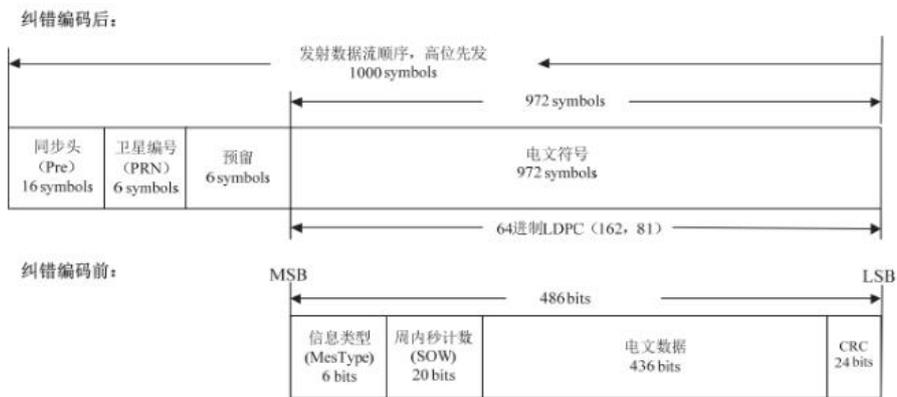


图 4-4 B-CNAV3 帧结构

北斗导航系统定位通过北斗卫星与无人机组一同协作，由无人机组中母无人机与北斗一号卫星建立联系，实现信号中继传输，确定无人机组位置，在无人机组工作后通过北斗导航系统建立通信机制联立 5G 信号网，实现无人机组内精密通信，同时对区域内进行信号覆盖，利用无人机组进行信号捕捉，捕捉信号点传输回北斗二号卫星，由北斗卫星导航系统三颗卫星对信号点就行精准定位传输回无人机组<sup>[9]</sup>，再由无人机组规划救援路径并传输回控制台。

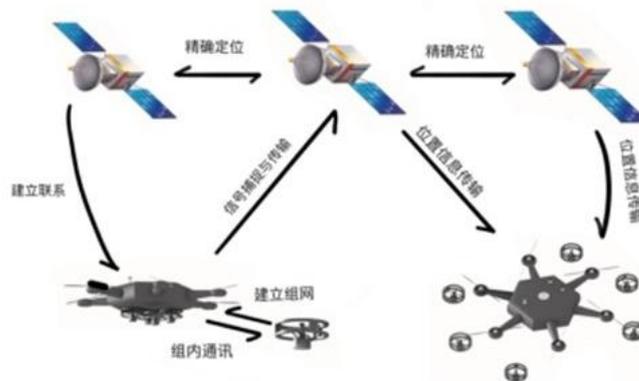


图 4-5 无人机组与北斗定位图

### 4.3 无人机内部协同通信

无人机内部通信主要遵循 5G LTE 协议，同时内部协作使用 Dubins 路径。

这里，我们考虑遵循 Dubins 路径的无人机，如图 5.1 所示。图为无人机轴  $t_b$  和  $n_b$  它表示无人机在体轴上的 x 轴和 y 轴， $\theta$  作为无人机的偏向角。还有一组轴固定在 Dubins 曲线（ $t_c$  和  $n_c$  在曲线上有一个原点，使得无人机位于正常轴  $n_c$  上。因此，当无人机在惯性空间中移动时，Dubins 曲线轴将沿曲线移动，以保持无人机在法向量  $n_c$  上的位置。

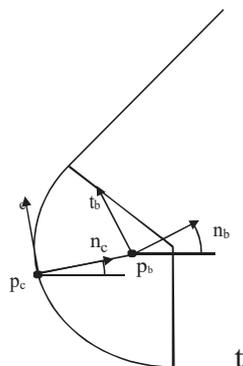


图 4-6 制导几何图

在惯性轴中，有

$$V_I = \mathbf{R}(\theta)V_b, \quad (5.1)$$

其中  $V_b$  是无人机速度， $\theta$  是机体轴相对于惯性轴的旋转角。因此

$$\mathbf{R}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$V_b = \begin{pmatrix} V_b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

如果定义了一组通过法向量  $n_c$  连接到无人机上的路径轴，然后给出了无人机在惯性轴中的位置

$$p_I = p_c + \mathbf{R}(\phi)p_u, \quad (5.3)$$

其中

$$\mathbf{R}(\phi) = \begin{pmatrix} \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ \sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$p_u = \begin{pmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (5.4)$$

式中： $d$  是连接 Dubins 曲线上的点和无人机的直线长度； $P_u$  是在这条线上的单位矢量； $\phi$  是惯性坐标系到 Dubins 曲线坐标系的旋转角度。对上式的时间变量求导可以得到

$$\frac{dp_I}{dt} = \frac{dp_c}{dt} + \frac{d\mathbf{R}(\phi)}{d\phi} \frac{d\phi}{dt} p_u + \mathbf{R}(\phi) \frac{dp_u}{dt},$$

$$\dot{p}_I = \dot{p}_c + \hat{\mathbf{R}}(\phi)\dot{\phi}p_u + \mathbf{R}(\phi)\dot{p}_u, \quad (5.5)$$

其中

$$\hat{\mathbf{R}}(\phi) = \begin{pmatrix} -\sin(\phi) & -\cos(\phi) & 0 \\ \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (5.6)$$

由于

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{p}}_1 &= \mathbf{V}_1 \\ &= \mathbf{R}(\phi) \begin{pmatrix} V_b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5.7)$$

且

$$\dot{\mathbf{p}}_c = \mathbf{R}(\phi) \begin{pmatrix} V_c \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5.8)$$

又有

$$\dot{\mathbf{p}}_u = \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{d} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (5.9)$$

式中： $V_c$  是点  $P_c$  沿路径移动的速度。方程式 (5.5) 可以写成如下形式：

$$\mathbf{R}(\theta) \begin{pmatrix} V_b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \mathbf{R}(\phi) \begin{pmatrix} V_c \\ \dot{d} \\ 0 \end{pmatrix} + \hat{\mathbf{R}}(\phi) \dot{\phi} \begin{pmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5.10)$$

在路径坐标系下可以得到：

$$\mathbf{R}'(\phi) \mathbf{R}(\theta) \begin{pmatrix} V_b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_c \\ \dot{d} \\ 0 \end{pmatrix} + \mathbf{R}'(\phi) \hat{\mathbf{R}}(\phi) \dot{\phi} \begin{pmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5.11)$$

或

$$\mathbf{R}_V \begin{pmatrix} V_b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_c \\ \dot{d} \\ 0 \end{pmatrix} + \mathbf{R}_\phi \dot{\phi} \begin{pmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (5.12)$$

其中

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_V &= \begin{pmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) & 0 \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos(\phi) \cos(\theta) + \sin(\phi) \sin(\theta) & -\cos(\phi) \sin(\theta) + \sin(\phi) \cos(\theta) & 0 \\ -\sin(\phi) \cos(\theta) + \cos(\phi) \sin(\theta) & \sin(\phi) \sin(\theta) + \cos(\phi) \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos(\theta - \phi) & -\sin(\theta - \phi) & 0 \\ \sin(\theta - \phi) & \cos(\theta - \phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5.13)$$

且

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_\phi &= \begin{pmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) & 0 \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin(\phi) & -\cos(\phi) & 0 \\ \cos(\phi) & -\sin(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (5.14)$$

因此可以得到

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta - \phi) & -\sin(\theta - \phi) & 0 \\ \sin(\theta - \phi) & \cos(\theta - \phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_c \\ d \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dot{\phi} \begin{pmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5.15)$$

将上式展开后得到

$$\begin{aligned} V_b \cos(\theta - \phi) &= V_c - \dot{\phi} d, \\ V_b \sin(\theta - \phi) &= \dot{d} \end{aligned} \quad (5.16)$$

或

$$V_c = V_b \cos(\theta - \phi) + \dot{\phi} d, \quad (5.17)$$

$$\dot{d} = V_b \sin(\theta - \phi). \quad (5.18)$$

式 (5.17) 为路径坐标系原点沿路径的速度。式 (5.18) 给出了距离  $d$  的动态特性。现在可以得到  $\phi$  的变化率与路径曲率  $\kappa$  以及  $p_c$  点的速度  $V_c$  之间的关系:

$$\dot{\phi} = \kappa V_c. \quad (5.19)$$

因此

$$\begin{aligned} V_c &= V_b \cos(\theta - \phi) + \kappa V_c d \\ (1 - \kappa d) V_c &= V_b \cos(\theta - \phi) \\ V_c &= \frac{V_b \cos(\theta - \phi)}{(1 - \kappa d)}. \end{aligned} \quad (5.20)$$

当无人机与规划好的路径的距离正好等于路径弧的半径时, 上式没有确定解, 即

$$\begin{aligned} (1 - \kappa d) &= 0 \\ d &= \frac{1}{\kappa}. \end{aligned} \quad (5.21)$$

此时无人机从 Dubins 路径弧段圆心经过,  $V_c$  没有确定解。

#### 4.4 无线充电

在无线充电上采用宁波微鹅电子科技有限公司的 Wi-Po 无线充电技术, 参考国际无线充电联盟 A4WP (现已与另一无线充电标准组织 PMA 合并为 AirFuel) 的 Rezence 标准<sup>[10]</sup>, 这是第二代磁共振无线充电技术, 对航母及子无人机采用高频磁共振技术进行充电<sup>[11]</sup>, 利用高频恒定幅值交变磁场发生装置, 产生 6.78MHz 的谐振磁场, 实现更远的发射距离。Wi-Po 磁共振无线充电技术垂直充电距离提升 10 倍, 有效充电面积提升 25 倍, 可实现随放随充。该技术通过蓝牙 4.0 实现通讯控制, 安全可靠, 并且可以支持一对多同步通信, 同时还具有过温、过压、过流保护和异物检测功能<sup>[12]</sup>。不限制体积以及充电功率在 10w 左右的情况, 可以达到传输距离接近米, 真正实现空中无线充电, 且降低了子无人机在停放航母时精确度, 也能够进行高频谐振充电。

当子无人机电量达到预警值时, 地面主控制台获得电量信息, 并进行操控。地面主控制台向无人机平台发出子无人机充电命令, 无人机平台通过蛛网算法调用子无人机并执行返航充电命令。子无人机接近无人机平台, 无人机平台开启电磁铁, 并给无线充电台模块通电执行程序, 子无人机飞行到磁吸距离, 进行充电。

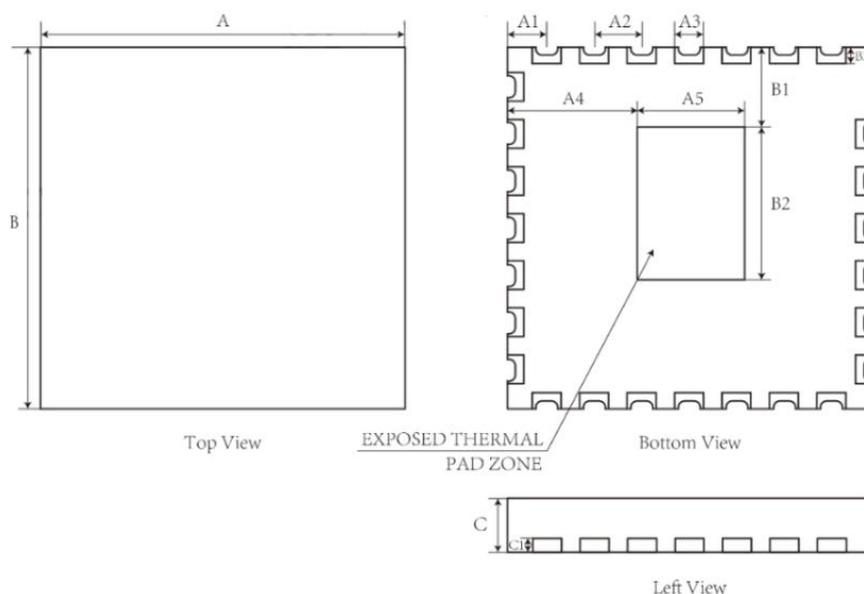


图 4-7 充电模块



图 4-8 无线充电装置

编号	管脚名称	IO	描述
1	NC	/	切除, 标记 1 脚
2	AGND	O	模块参考地, 散热用
3	AGND	O	模块参考地, 散热用
4	AGND	O	模块参考地, 散热用
5	AGND	O	模块参考地, 散热用
6	AGND	O	模块参考地, 散热用
7	AGND	O	模块参考地, 散热用
8	AGND	O	模块参考地, 散热用, 可做模块调试波形输出口参考地
9	Vtest	O	模块调试波形输出口
10	AGND	O	模块参考地, 散热用, 可做模块调试波形输出口参考地
11	TX+	O	发射线圈输出口, 正端
12	TX+	O	发射线圈输出口, 正端
13	TX-	O	发射线圈输出口, 负端
14	TX-	O	发射线圈输出口, 负端
15	AGND	O	模块参考地, 散热用
16	AGND	O	模块参考地, 散热用
17	AGND	O	模块参考地, 散热用
18	AGND	O	模块参考地, 散热用
19	PWM	O	MCU PWM 输出口, 供外部 DC 调压用, 备用口
20	EN-DC	O	MCU 输出口, 供外部使能用, 备用口
21	EN	I	MCU 输入口, 模块使能信号, 高电平有效
22	LED2	O	MCU 输出口, LED 故障指示灯, 低电平有效
23	LED1	O	MCU 输出口, LED 正常指示灯, 低电平有效
24	GND	I	模块输入地, 禁止与 AGND 连接
25	Vin	I	模块电源输入。5V 版本: 支持 3.5-5V 输入; 12V 版本: 支持 3.5-12V 输入
26	Vg	I	模块辅助电源供电, 4-5V 输入
27	AGND	O	模块参考地, 散热用
28	AGND	O	模块参考地, 散热用
	散热焊盘	/	模块底部散热焊盘, 连接到 AGND。

表 1 管脚设置及功能简介

表 4-1 管脚设置及功能简介

表 4-2 无线充电操作范围

		最小	最大	单位
$V_{in}$	输入电压范围	3.5	5V 版本: 5 12V 版本: 12	V
$C_{in}$	输入电容容值	4.7	/	$\mu F$
$L_{Tx}$	发射线圈感值	0.2	3	$\mu H$
$C_{ex}$	谐振电容容值	100	1000	pF
$f_{SW}$	工作频率	/	6.78	MHz
$f_{PWM}$	PWM 信号频率范围	1	4	kHz
$D_{PWM}$	PWM 信号占空比范围	0	100	%
$T_A$	工作环境温度范围	-40	85	$^{\circ}C$

表 2 无线充电操作范围

表 4-3 PCB 封装尺寸

SYMBOL	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	29	30	31
A1	3.18	3.222	3.27
A2	3.88	3.926	3.97
A3	2.25	2.3	2.35
A4	11.92	11.989	12.04
A5	6.5	7	7.5
B	29	30	31
B1	6.78	6.829	6.88
B2	9.5	10	10.5
B3	0.85	10	0.95
C	6.5	7	7.5
C1	0.9	1	1.1

表 3 PCB 封装尺寸

## 5 5G 小基站

5G 小基站无人机组网，在 5G 运营商组网下，5G 社会化基站主要以扩展型微站、数字光纤直放站、室外微站和数字微分布为主<sup>[13]</sup>。如浪潮集团有限公司云熠无线网基站 iRAN 系列产品，已基带单元 iBBU，扩展单元 iEU 和射频单元 iRRU。iRAN 系列产品基于开放的 ORAN 架构，满足 3GPP、中国通信标准化协会有关数字化室内分布系统设备的技术要求的成熟设备供应。

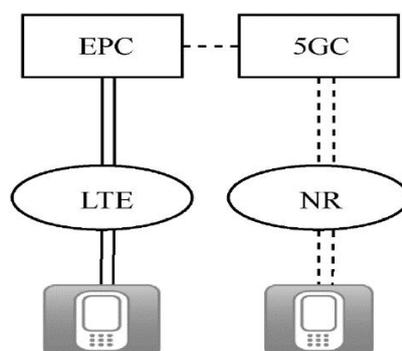


图 5-1 5G 独立组网

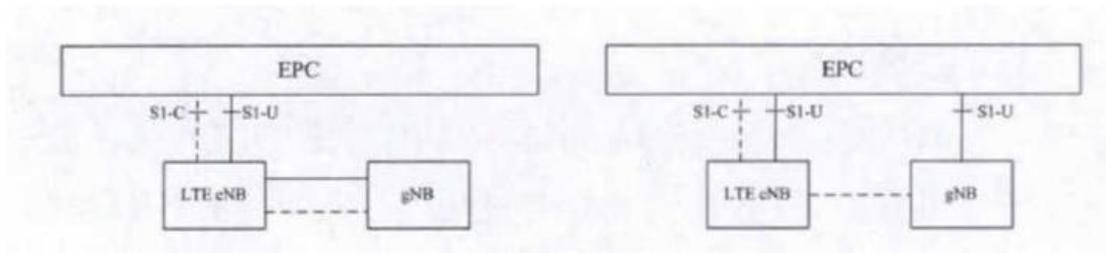


图 5-2 5G 与 LTE 联合组网构架 3 和 3A 示意图

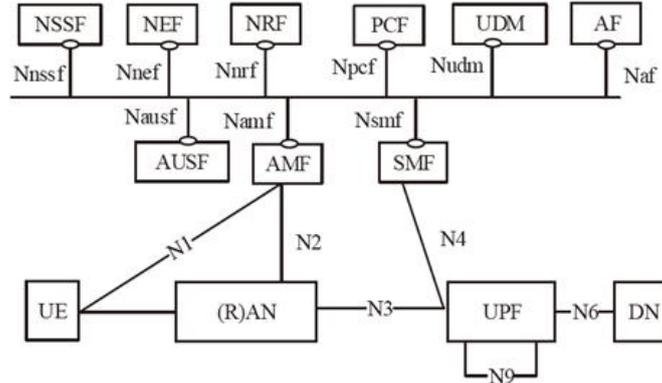


图 5-3 5GC 服务优化架构和网络功能

### 小基站覆盖半径对性能的影响

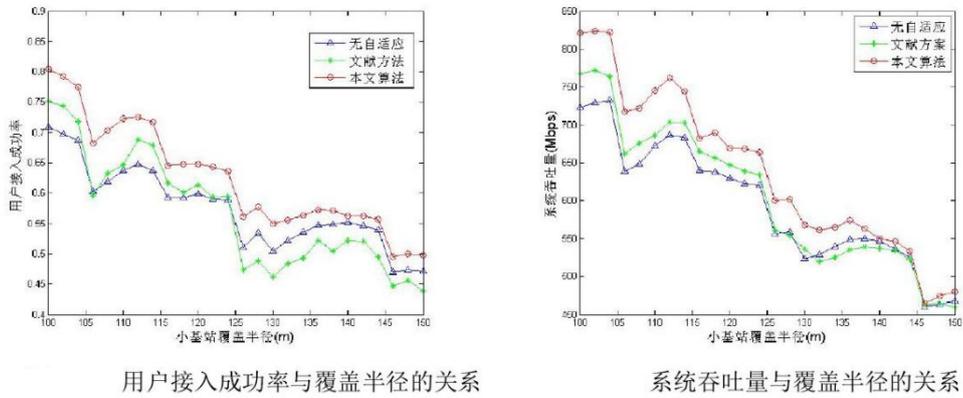


图 5-4 小基站覆盖半径对性能的影响

## 业务负载对性能的影响

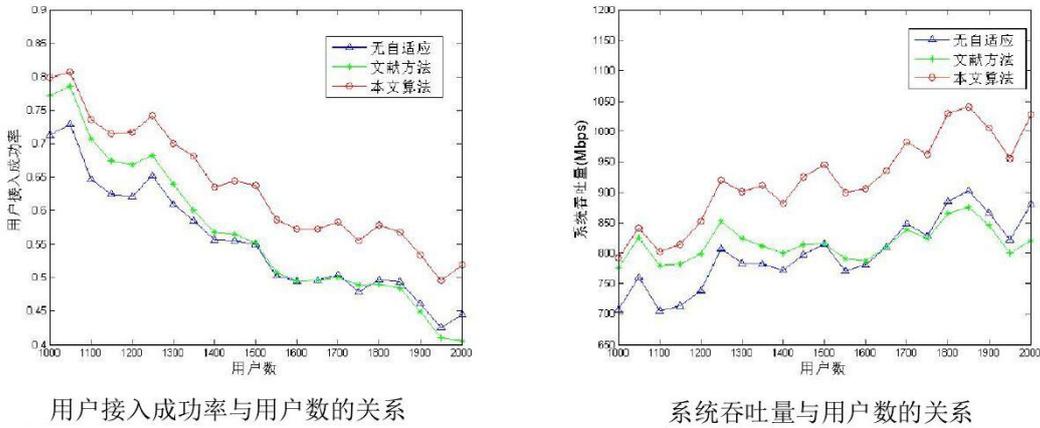


图 5-5 业务负载对性能的影响



图 5-6 5G 小基站

## 6 油电混合动力系统

油电混合动力系统由燃油发动机、交流发电机、电能转换模块、锂电池以及监控模块所构成，系统内部燃油发动机提供动能给交流发电机，交流发电机转换为交流电后通过电能转换模块转换为直流电，以实现油电混合为无人机组提供动力，并在监测到无人机动力系统产生故障状态时进行故障报警，提高无人机的稳定性和续航时间。无人机平台起飞上升阶段使用燃油发动机为无人机起飞阶段提供足够的马力，当无人机飞到指定位置时采取油电混合动力系统，一方面为无人机平台提供动能，另一方面对无人机平台携带的锂电池进行蓄电，旋停时采用锂电池直接供电，以此达到节约能量，增大无人机续航时间的目的。



图 6-1 油电混合动力系统模块分图

## 7 红外热成像云台

红外热成像云台可以通过接受物体发出的红外线,成像后显示被测物表面上的温度分布情况<sup>[14]</sup>,通过温度的差异比对来找到环境的异常点,由此检测出丢失人员或检测余火。无人机组外挂奇蛙秋毫 Z-7A IG-4 ST 红外热成像云台,通过云台的检测温度异常点结合北斗导航定位系统实现精确定位异常点,通过北斗通讯系统将信息实时反馈到控制台,进行路径规划,实施救援。



图 7-1 Z-7A IG-4 ST 红外热成像云台

## Z-7A IG-4 ST红外热成像云台

红外热成像增稳云台相机	17um非制冷焦平面探测器	
自动对焦	支持测温	三轴稳像
全铝合金结构设计, 轻巧坚固	散热性能好	支持快拆功能

图 7-2 Z-7A IG-4 ST 红外热成像云台优点

## 8 无人机平台电路设计

电路中预留出电源供电接口,现使用锂电池纯电供电,并为接下来使用混合发电为无人机平台的续航方式与续航能力提供改变和增强.主控中采用 QMC5883L 电子罗盘磁场传感器,测距雷达,排座蓝牙 5.0,电压采集等多功能接口.具有很强的扩展性,和改进前景.

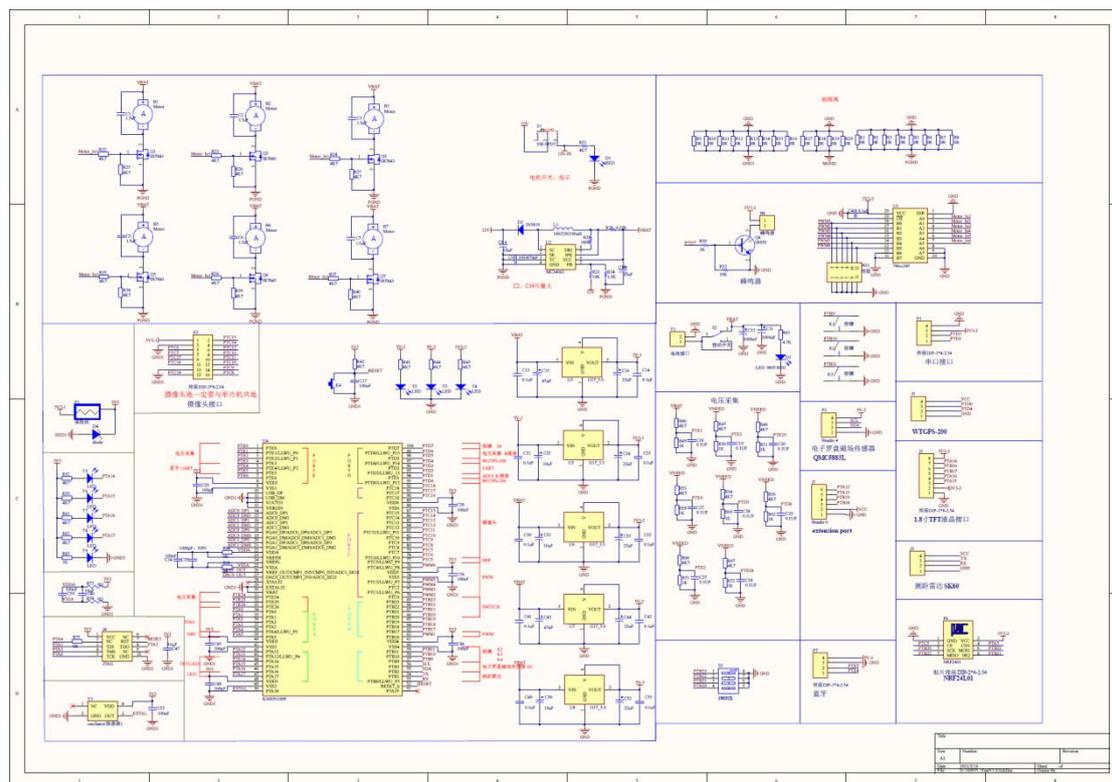


图 8-1 无人机部分电路图

## 9 子无人机设计

子无人机采用创新性的共轴双旋翼设计,在节省空间的背景下保留了无人机的稳定性

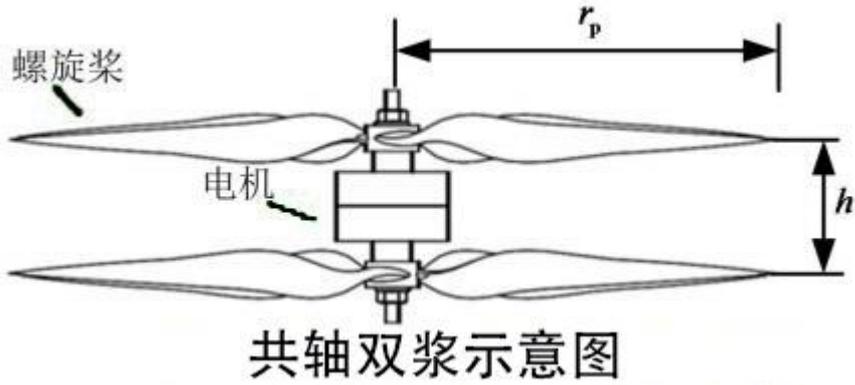
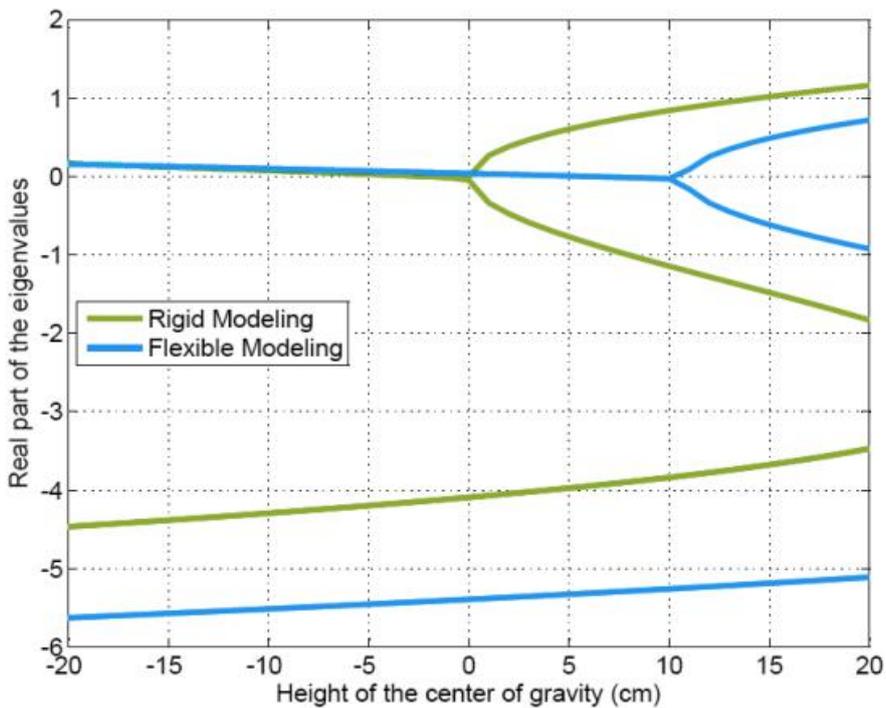


图 9-1 共轴双桨示意图

	碳纤维	碳纤维	聚碳酸酯	丙烯酸塑料	铝合金	轻木
密度 (1b/cuin)	0.05	0.07	0.05	0.04	0.1	0.0027-0.0081
刚度 (Msi)	9.3	2.7	0.75	0.38	10.3	0.16-0.9
强度 (Ksi)	120	15-50	8-16	8-11	15-75	1-4.6
价钱 (10:最便宜)	1	6	9	9	7	10
加工(10:最容易)	3	7	6	7	7	10

图 9-2 材料选择



重心高度与稳定性的关系

图 9-3 重心高度与稳定性的关系

## 10 应用前景

本文设计的复杂地形无人机搜救平台搭载有北斗导航系统、5G 小基站、无线充电装置、油电混合动力系统等，可对区域进行 5G 组网覆盖，让区域内拥有 5G 信号，并对区域内进行信号捕捉和热成像分析，在森林火灾、广袤地形、复杂地形应急救援时，可发挥其可移动性、低风险性、高精度性、长续航

---

性等特性,加速应急救援时效性,降低应急救援时的伤亡风险,具有较高的社会价值和实用价值。

### 参考文献

- [1] 王晨阳.政务微博在突发事件中的社会影响力探讨——以“3·30 木里县森林火灾”为例[J].科技传播,2019,11(17):118-119.
- [2] 宗剑.油电混合动力多旋翼飞行器设计与研究[D].南昌航空大学,2017.
- [3] 王伟庭.移动城域传输网组网保护及演进方式研究[J].电子世界,2017(13):90.
- [4] 伯秀秀.小型混合式无人机动力系统研究[D].安徽大学,2018.
- [5] 梁宵,王宏伦,孟光磊,陈侠.三维真实地形环境下无人机救援航路规划方法[J].北京航空航天大学学报,2015,41(07):1183-1187.
- [6] 《中国北斗卫星导航系统》白皮书[J].卫星应用,2016(07):72-77.
- [7] 邵伦.北斗卫星导航系统在移动通信领域的研究及发展趋势[J].信息通信技术与政策,2019(11):36-40.
- [8] 刘基余.适应 SAR 功能的 GNSS 接收机待研发——GNSS 导航信号的收发问题之十六[J].数字通信世界,2016(02):1-5.
- [9] 邹佩.北斗卫星导航系统仿真研究[D].西安电子科技大学,2017.
- [10] 林桂江.无线传能技术的发展与展望[J].科技展望,2016,26(03):5-6.
- [11] 本刊综合.无线充电:理想照进现实[J].发明与创新(大科技),2017(07):42-43.
- [12] ALONG.自由自在充电——无线充电手机导购[J].电脑知识与技术(经验技巧),2019(06):54-56.
- [13] 刘盼盼.光纤直放站在移动通信网中的应用及其干扰[J].电脑迷,2018(06):115-116.
- [14] 师立国.浅议红外测温仪工作原理及应用[J].东方企业文化,2013(19):213.

---

## 基于北斗的冷链物流追踪系统

作者：徐大庆、洪琪瑶、郎志、朱淦

指导教师：张园园

学校：福建农林大学

---

**【摘要】**随着人们生活质量和消费水平的不断提升，冷链物流基础设施建设也逐步完善、冷链服务水平逐步提升，国内冷链物流的发展规模将持续增长。2020年全国范围内爆发的新冠疫情也对冷链物流行业服务水平提出了新的要求。为了积极贯彻国家要求，设计能够实现来源可溯、去向可查、质量可控的冷链全链条物流追踪系统是极为必要的，以此在保障货物质量的同时实现全链条、无盲点、无死角的全覆盖监管。本文介绍的基于北斗的冷链物流追踪系统，包括运输监控系统、配送监控系统、信息可视化系统三个部分，做到全方位、高效率地保障货物安全。本系统基于北斗定位功能对冷链运输车辆进行实时监控和追踪，利用来自北斗定位系统的高精度的位置数据，记录冷链车辆运输过程中的实时轨迹。通过提取 GIS 数据库对应位置的空间地理信息，与疫情风险地区进行叠加，从而判断货物运输路线的安全性。本系统在提供冷链物流追踪功能的同时，还记录货物流动链条上所有信息，包括与货物接触过的人员信息和其他货物信息，实现全链信息可视化，从而实现链条节点信息异常时高效快速地对节点中的元素或有关元素进行排查，可以有效防范和阻断冷链对疫情传播、降低传染风险。本系统多个模块之间有机结合，旨在保证整个冷链物流过程的安全性，推动国内冷链物流行业转型升级。

**【关键词】**北斗；无人机；轨迹规划；多机器人系统

**【Abstract】** With the continuous improvement of people's quality of life and consumption level, the construction of cold chain logistics infrastructure is gradually improved, the level of cold chain service is gradually improved, and the development scale of domestic cold chain logistics will continue to grow. The outbreak of the new crown epidemic in 2020 also put forward new requirements for the service level of cold chain logistics industry. In order to carry out the requirements of the country actively, it is very necessary to design the whole chain logistics tracking system of cold chain which can be traced back, checked and controlled in quality, so as to ensure the quality of goods while realizing the full chain, no blind spot and no dead angle. The cold chain logistics tracking system based on Beidou is introduced in this paper, which includes three parts: transportation monitoring system, distribution monitoring system and information visualization system. Based on the Beidou positioning function, the system monitors and tracks the cold chain transport vehicles in real time, and records the real-time track of the cold chain vehicle transportation process by using the high precision position data from the Beidou positioning system. By extracting the spatial geographic information of the corresponding position of the GIS database and superposition with the epidemic risk area, the safety of the cargo transportation route is judged. While providing the cold chain logistics tracking function, the system also records all the information on the cargo flow chain, including the personnel information and other goods information in contact with the goods, and realizes the visualization of the whole chain information. The purpose of this system

---

is to ensure the safety of the whole cold chain logistics process and to promote the transformation and upgrading of the domestic cold chain logistics industry.

**【 Key words 】** BDS , IOT , RFID , Embedded system , Information traceability

---

## 1 研究背景

### 1.1 研究背景

2020 年至今，随着进口冷链食品的输入，疫情的风险不断加大。因此冷链屡次成为新冠肺炎疫情风险点，是疫情防控的重中之重。如何加强进口食品冷链安全防控，完善冷链食品溯源信息系统，严防疫情通过进口冷链食品输入的风险等问题亟待解决。

冷链运输频频发生食品外包装感染事件，让冷链食品的追溯备受关注。2020 年 11 月 27 日，国家卫健委发布关于进一步做好冷链食品追溯管理工作的通知，加强对冷链食品新冠病毒检测阳性通报结果的溯源倒查和精准定位。与此同时，针对近期全国多地进口冷链食品外包装新冠病毒核酸检测呈阳性的情况，各地市场监管局也提出了各种加强进口冷链食品追溯管理等防控措施。

同时我国对冷链物流的需求快速增长，中物联冷链委数据显示，2015-2019 年，我国冷藏车保有量基本保持 20% 以上的增速。2020 年疫情以来，冷链物流需求旺盛，冷藏车作为冷链物流的核心运输设备，其中 4-6 月产量同比增速超过 80%。但我国的冷链建设却相对滞后，目前冷链物流基础设施和体系并不健全，大多数企业没有构建冷链环境实时监测系统，冷链信息难以实时追踪。

因此，设计能实现来源可溯、去向可查、质量可控的冷链全链条物流追踪系统是极为必要的，以此在保障货物质量的同时实现全链条、无盲点、无死角的全覆盖监管。

## 2 研究目的与意义

在疫情和冷链建设滞后的双重影响下，现有的冷链物流作业、监管方式很难做到全方位、高效率地保障货物安全。目前国家大力支持推动冷链物流建设、冷链信息追溯，本项目旨在设计出一套既能提高冷链质量又能全面高效追溯冷链信息的系统。

目前我国冷链质量受影响主要是发生在运输和配送阶段，运输配送过程中环境没有受到监控，货物保存环境受各种因素影响导致冷链质量不达标时却无法及时作出相应防范措施。信息追溯方面，冷链物流往往是多个节点组合，现有的信息收集方式很难将各个节点的信息全面收集，货物检测出病毒时只能各个节点大规模排查，无法做到快速精准确认。

因此，本项目设计的基于北斗的冷链物流追踪系统在保障冷链质量的同时收集该链条上的信息，可以帮助相关部门操作人员进行冷链货物检测与排查。本系统不仅应用于冷链项目，将来可以应用到各种货物运输，在保障质量的同时提高工作效率。

### 3 特色与创新

#### 3.1 北斗定位与 RFID 定位相结合

采用北斗定位技术可以提高定位精度，但当冷链作业发生在室内及遮挡环境下时，北斗定位会受到影响，采用 RFID 定位可以补全定位信息，并且将人和货进行绑定。融合北斗定位技术与 RFID 定位技术不仅能够弥补其在室内及遮挡环境下定位性能的不足，还提高了定位精度与可靠性。

#### 3.2 全面监控冷链信息

在收集冷链货物的流动轨迹信息的同时，本系统还能全面监控冷链环境以保证冷链质量、保障货物安全。同时运用区块链的思想将冷链上的相关节点形成各个区块，各节点负责相应的信息上传。各节点的信息全链可见且无法修改其他节点的信息，以确保全链信息无缺失，信息异常时也可以精准排查。

#### 3.3 设计新型保温箱

本项目设计的新型保温箱保温性能好、安全性高，具有耐热性强、韧性强、缓冲性能好等特点，适用于冷链货物的配送。保温箱同样具备监测环境信息的功能，保障全链冷链质量达标。同时保温箱装有二维码识别模块，确认货物安全后识别成功才可取走货物。保温箱在遭到破坏或被强行带离时会自动报警。在保障货物安全的同时，还降低了货物的丢失率。

#### 3.4 生成货物安全码

本项目为每个货物都生成安全码，当货物检测确认安全时生成绿码，客户在客户终端 APP 对货物信息进行查询时显示该安全码，以此来保证消费者的安全。

## 4 系统设计与实现

### 4.1 系统整体设计

基于北斗的冷链物流追踪系统由运输监控系统、配送监控系统、信息可视化系统三个部分组成。相比目前的冷链物流监控模式，本系统将货物从出发点出发到最终客户接收视为一整条链，将链条上人、货、环境的信息进行整合形成数据库，从而实现货物流动全链无死角监控。根据整体框架和功能需求，系统根据图 1 所示的系统整体架构进行设计。

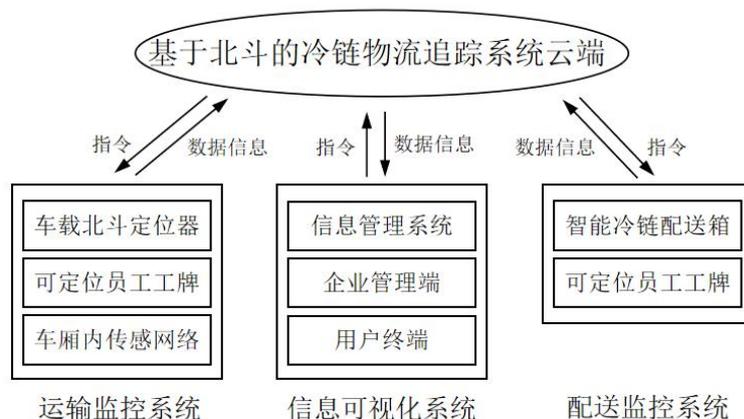


图 1 系统整体架构

---

本系统基于北斗定位功能对冷链运输车辆进行实时监控和追踪，利用来自北斗定位系统的高精度的位置数据，记录冷链车辆运输过程中的实时轨迹。通过提取 GIS 数据库对应位置的空间地理信息，与疫情风险地区进行叠加，从而判断货物运输路线的安全性。本系统在提供冷链物流追踪功能的同时，还记录货物流动链条上所有信息，包括与货物接触过的人员信息和其他货物信息，实现全链信息可视化，从而实现链条节点信息异常时高效快速地对节点中的元素或有关元素进行排查，可以有效防范和阻断冷链对疫情传播、降低传染风险。本系统多个模块之间有机结合，旨在保证整个冷链物流过程的安全性。

## 4.2 运输监控系统设计与实现

运输监控系统由定位模块、车厢内环境监控模块组成。

货物从始发点出发或中转站转运时，首先由佩戴可定位员工工牌的员工进行装车/卸货，工牌会记录员工运动轨迹信息并上传。装车完成后同样由佩戴工牌的司机进行运输，通过扫描运单二维码即可将货物、员工、车辆绑定。运输过程中定位模块会实时记录车辆的运动轨迹，车厢内环境监控模块也会记录车厢内的环境（温湿度、气体浓度等）。货物到达目的地或中转站记为一个节点。整个过程中产生的数据信息通过通信模块即时传输至云端服务器。

### 4.2.1 定位模块

定位模块采用北斗定位和 RFID 定位技术。

车载北斗定位器采用 ATK-1218-BD 北斗双定位模块，相比于传统的 GPS 定位模块定位更精准。MCU 采用 stm32 单片机，将获取的定位信息解析后，再由通信模块发送给后台服务器，由后台服务器的数据库进行统计管理。利用北斗定位模块实现运输车辆位置信息的采集，采用网络辅助信息+差分 BDS 等技术手段，通过 5G 基站提供的网络辅助定位信息，即可实现北斗快速定位。差分 BDS 系统由参考站、数据中心、数据链和用户设备等部分组成。参考站、数据中心和用户设备之间的连接都依靠数据链，差分 BDS 系统的连续性、可靠性也取决于数据链是否畅通、可靠、有效和安全，是否具有高速率、大容量、低误码率的数据传输能力。

可定位员工工牌分为 RFID 定位和北斗定位两种，分别适用于装卸搬运作业、运输配送作业。冷链货物装卸搬运作业场地通常距离冷库较近，并且作业较为集中。所以可定位员工工牌内置 RFID 标签，通过提前在作业区布置 RFID 读写器，RFID 标签在接收到多个读写器信号后，根据每个读写器的信号值即可计算出其所在坐标，通过后台软件获取位置信息后即可传输至云端。运输配送作业需要与货物一起流动，所以采用北斗定位。

### 4.2.2 车厢内环境监控模块

运输车厢内根据需求装配不同的传感器组成传感网络，通过传感网络获取车厢内的环境信息。通过无线通讯技术将各项数据发送至云端。监测到车厢内环境异常时，系统会自动控制车厢内的制冷器、加湿器等执行设备进行环境修正，确保货物始终处于合适的运输环境，以保证运输质量和货物安全。同时信息可视化系统会将本次修正标记，企业管理端和用户终端都可以查询到本次修正的详细信息。

## 4.3 配送监控系统设计与实现

配送监控系统通过新型保温箱和可定位员工工牌实现其作用。

用于非大批量配送阶段的新型保温箱采用物联网三层架构进行设计，具有定位、箱内环境监控、二维码开箱、自动报警等功能，以确保货物的安全。保

保温箱内置北斗定位模块以获取高精度实时位置信息，温湿度传感器能够监测保温箱内的实时温湿度。同时保温箱装有二维码识别模块和报警模块，通过扫描正确二维码才可以开启保温箱，若保温箱被强行打开或保温箱被带离规定区域时蜂鸣报警。同时保温箱具有不同的规格，以适应不同的配送需求。保温箱位置信息、车厢内环境数据、保温箱开启信息、报警信息等通过 NB-IOT 数传模块上传至云端。保温箱硬件设计图如图 2 所示。

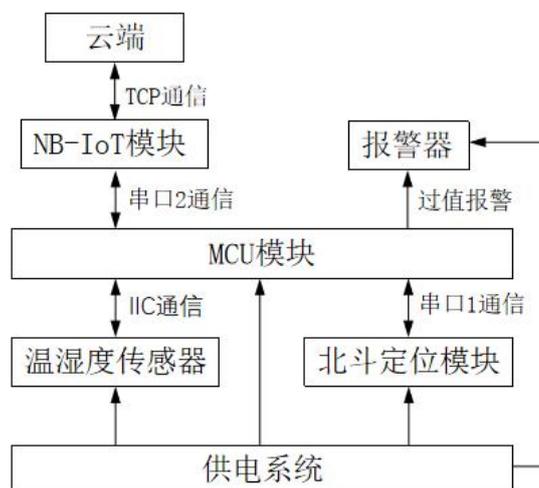


图 2 保温箱硬件设计图

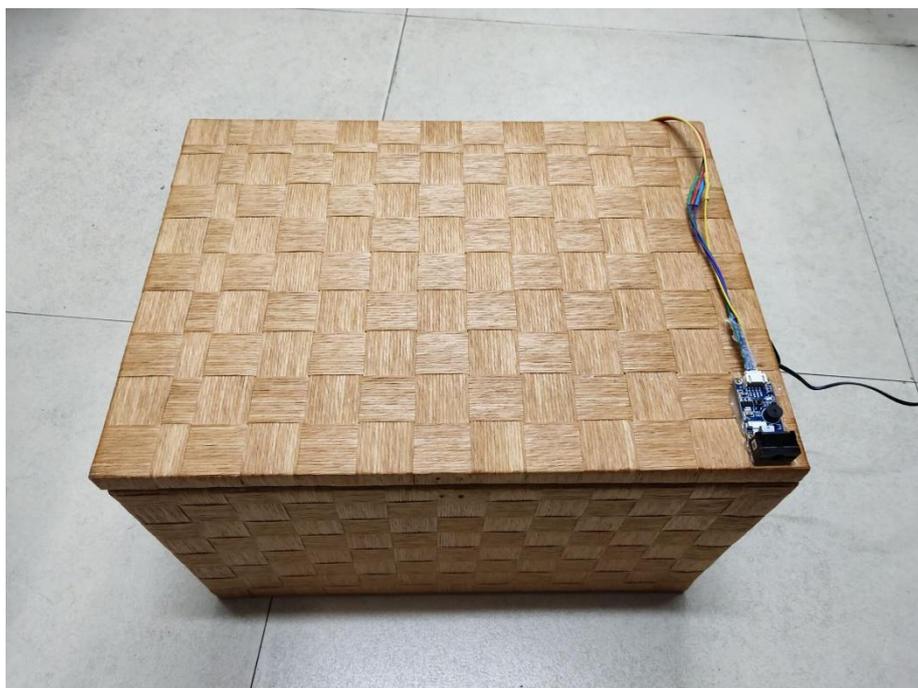


图 3 保温箱模型外观图

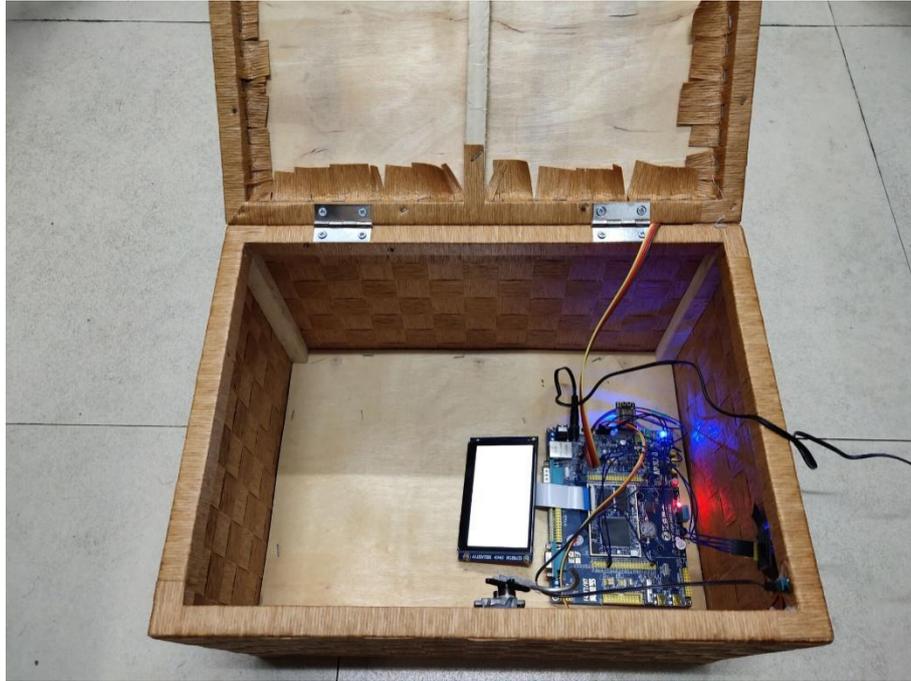


图 4 保温箱模型内部图

#### 4.3.1 定位与环境监测模块

保温箱定位模块同样采用 ATK-1218-BD 北斗双定位模块，环境监测模块采用 DHT11 温湿度传感器。将位置信息与环境信息叠加即可生成运输质量轨迹图。

#### 4.3.2 二维码识别模块

货物到达收货区域且确认货物安全后，用户终端即可生成专属开箱二维码，将二维码置于扫码器前识别成功即可开箱取货。

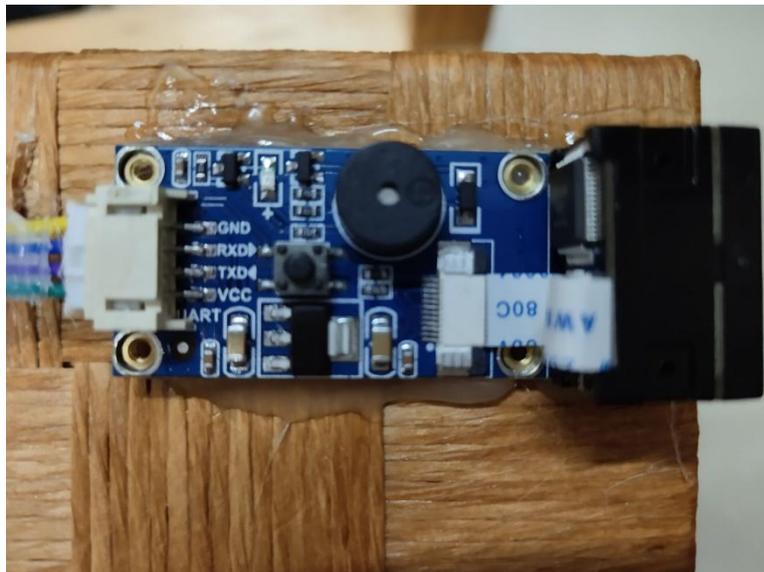


图 5 保温箱二维码识别模块

#### 4.3.3 数传模块

保温箱采用 NB-IoT 作为数据传输方式。华为设计的窄带物联网（NB-IoT）构建于蜂窝网络，只消耗大约 180KHz 的带宽，使用 License 频段，可利用 GSM 网络、UMTS 网络或 LTE 网络，部署成本低，可以随着移动通信网络的

发展平滑升级。NB-IoT 可以利用蜂窝网络，实现大距离移动工作的便利性，还具有远距离通讯的能力，解决了传感器端和云端广泛连接与通讯的难点。

#### 4.4 信息可视化系统设计与实现

信息可视化系统由信息管理系统、企业管理端和用户终端组成。

冷链物流全链所产生的数据信息都会上传云端形成数据库，再将数据库中不同部分的数据进一步传输到信息可视化系统各个部分。不同部分中的信息都将直观、准确地展现出来，以到达快速查找、精准搜索的效果，提高工作效率。

##### 4.4.1 信息管理系统

信息管理系统采用 QT 进行开发，由信息查询模块、关系图谱模块、预警模块和数据库组成，数据库会随着云端数据库的变化而变化，做到数据实时同步。

信息查询模块中输入货物编号即可获取各类信息，包括流动轨迹、冷链质量轨迹、相关货物、作业人员等。



图 6 信息查询模块

关系图谱模块模块将货物接触过的人、物以关系图谱的方式进行直观的展示，同样输入货物编号即可获取关系谱图。

预警模块具有异常预警的作用，当链条上的元素被检测出异常时，预警模块则会立即报警。该元素列为一级危险对象，与其关系紧密的元素列为二级危险对象，依次类推。同时点击元素即可获取完整信息，便于全方位快速排查。

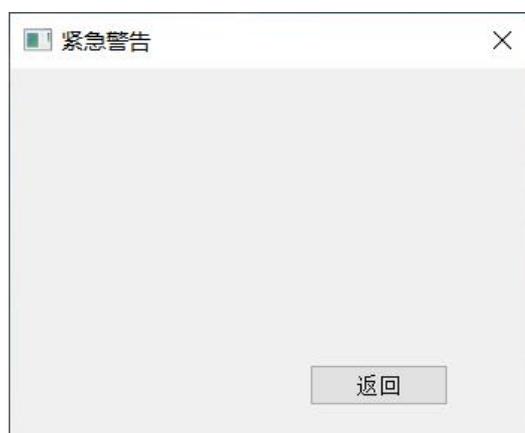


图 7 预警模块

#### 4.4.2 企业管理端

货物流动链条上可能涉及多家企业，企业间信息不互通的话就会造成货物信息缺失，出现异常情况时无法及时精准地查找货物流动信息。所以不同企业应该使用一套相同的管理端，便于收集完整信息，例如货物在中转点停留时一起保存的货物信息。将各个企业划分为不同的区块负责企业自己的事务。货物交接时，上一区块的信息完整时下一个企业才会接收该批货物。

#### 4.4.3 用户终端

用户终端 APP 采用 Android Studio 开发，应用百度地图接口实现了货物实时定位显示、生成货物流动轨迹图。主要功能有订单信息查询、生成货物安全码、生成取货二维码、修改收货地址等功能。

订单信息查询模块列出了收货人的待收货订单，点击即可载入详细信息界面，详细内容包括配送人员信息、货物实时位置、货物流动轨迹、货物冷链质量、货物安全码。若货物流动全链相关元素检测结果都为安全且未经过疫区货物安全码则为绿色，为绿色时代表可放心签收。



图 8 订单信息查询模块



图 9 货物安全码

通过查询订单信息，确认货物安全后等待货物到达指定签收区域即可通过APP生成取货二维码，识别成功即可开箱取货。



图 10 开箱取货二维码

## 5 总结与展望

在疫情影响下不时曝出冷链货物携带病毒的消息，并且消费者对于冷链货物质量和安全的要求越来越高。基于北斗的冷链物流追踪系统在保障货物质量的同时可以有效收集全链信息以实现冷链全链可追溯。再结合区块链的思想将各个冷链节点划分为不同区块，出现突发情况时能迅速做出应对措施来减少损失、保障人们的安全。

本系统应用了物联网、北斗定位、互联网大数据、RFID、嵌入式系统等热门技术，项目研究设计范围广阔，该项目将会进行不断的升级优化，将来本系统不仅可应用于冷链行业，还可以应用到各行各业，实现物流全链有效追溯和即时应急。

### 参考文献

- [1] 林俊, 廖平. 基于北斗/GPS 的工程机械车载定位监控系统设计[J]. 制造业自动化, 2019, 41(10):47-51.
- [2] 杨静. 区块链在冷链物流上应用的探讨[J]. 物流工程与管理, 2021, 43(01):91-93.
- [3] 于利娟, 宋荣权, 曹伟. 一种基于北斗系统的分队装备管理体系设计[J]. 中国科技信息, 2020(16):69-70+72.
- [4] 王斌. RFID 位置感知技术在物联网中的应用[J]. 信息通信, 2020(11):103-106.
- [5] 徐丽, 撒建欣, 徐雷, 沈德红, 徐长妍. 快递末端配送体系的问题分析及优化研究[J]. 包装工程, 2020, 41(23):141-153.
- [6] Han Jia-Wei, Zuo Min, Zhu Wen-Ying, Zuo Jin-Hua, Lü En-Li, Yang Xin-Ting. A comprehensive review of cold chain logistics for fresh agricultural products: Current status, challenges, and future trends[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109.

---

## 基于北斗的疫情防控舆情分析系统

作者：李建康、李绍伟、方伟昊、刘嘉诚

指导教师：陈洋卓、蔡晓雯

学校：湘潭大学

---

**【摘要】：**如今全球新冠疫情仍在蔓延，我国付出巨大代价控制住国内疫情，但仍面临着反弹的风险，这将是一场“持久战”。“基于北斗的疫情防控分析系统”依托于我国自主研发的北斗卫星导航系统，充分利用其定位通信功能，以手机等智能设备作为用户端，结合大数据舆情分析，通过百度舆情平台、网络爬虫技术等获取新冠肺炎疫情相关的舆情数据，基于地图与地理信息技术将舆情信息与疫情发展情况结合进行分析，实时监控人员聚集现象，持续挖掘疫情相关热点事件，通过分析和处理相关舆情数据，直观展现当前网络舆情焦点及其变化，积极助力政府及其相关部门有效引导和控制网络舆情。在突发公共事件中，该系统以数据的快速流动来精准分析事件的快速流变，以大数据的精准预测、精准分析和精准施策实现速度取胜，及时消除舆论散播带来的不良影响。通过北斗卫星导航系统，将定位分布等数据与网络相关热点事件加以整合，为政府及有关部门及时制定危机预警方案、密切关注事态发展、及时传递和沟通信息提供有力保障。

**【关键词】：**北斗定位，大数据，舆情分析，疫情防控

**【Abstract】** Now that the global new crown epidemic is still spreading, my country has paid a huge price to control the domestic epidemic, but it is still facing pressure to rebound. This will be a "protracted war."The "Beidou-based epidemic prevention and control analysis system" relies on the Beidou satellite navigation system independently developed by my country, makes full use of its positioning communication function, uses smart devices such as mobile phones as the client, and combines big data public opinion analysis, through Baidu public opinion platform, web crawler Technology, etc. to obtain public opinion data related to the new crown pneumonia epidemic, analyze public opinion information and the development of the epidemic based on map and geographic information technology, monitor the gathering of people in real time, continue to explore hot events related to the epidemic, and analyze and process relevant public opinion data, intuitively Show the focus of current online public opinion and its changes, and actively help the government and related departments to effectively guide and control online public opinion.In public emergencies, the system uses the rapid flow of data to accurately analyze the rapid flow of events, uses the precise prediction, precise analysis, and precise policy implementation of big data to achieve speed wins, and eliminates the adverse effects of public opinion dissemination in a timely manner. Through the Beidou satellite navigation system, data such as positioning and distribution are integrated with network-related hot events, providing a strong guarantee for the government and relevant departments to formulate crisis warning plans in a timely manner, pay close

attention to developments, and transmit and communicate information in a timely manner.

【 Key words 】 Beidou Positioning, Big Data, Public Opinion Analysis, Epidemic Prevention and Control

## 1 研究背景

### 1.1 疫情背景

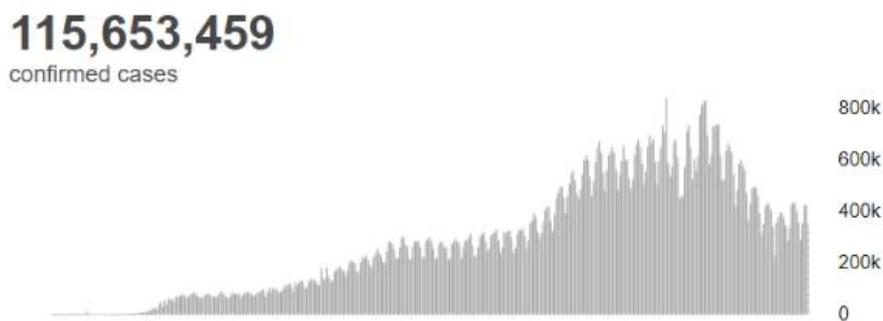


图 1-1 截止北京时间 3 月 6 日 22 时 02 分，全球累计新冠肺炎确诊病例为 115653459 例

自 2020 年初以来，新冠疫情在全球爆发，我国作为人口大国，每当节日来临，我国都会面临人员大规模流动，特别是在春节期间，人员聚集性活动多，跨区域流动，这些都将增加疫情传播的风险。在去年春节期间，我国疫情就呈现出多地局部暴发和零星散发状态，因此，我国各地精准防控，针对高中低不同风险地区因地制宜。

对于当前国际形势，疫情防控是一场持久战，其对经济发展造成极大冲击。由于当前疫情形势，保持社交间距的要求将长期存在，一些行业包括公共交通、文体娱乐等很难在短时间内完全恢复至以前的状况。

疫情的严峻形势下，国家在高新尖技术上仍然保持高速发展，去年 7 月 31 日北斗三号的发射成功，标志着北斗导航已开启全球化、产业化新征程，目前，全球应用北斗系统导航的手机已经超过 3.72 亿部，70% 以上的中国智能手机已有北斗服务，助力疫情防控是今年北斗应用的新亮点，其经济效益和社会效益显著。可以确定的是，要想全面打赢疫情阻击战，对于北斗的“依赖性”是持久长远的。

### 1.2 舆情影响

舆情，是指在一定的社会空间内，围绕中介性社会事件的发生、发展和变化。它反映出民意的集合，是大多数群众关于社会中出现的各种现象、问题所表达的态度、意见和情绪等等表现的总和。由于网络的普及性，本项目是基于网络舆情提出的。

网络舆情是是社会舆论的一种表现形式，它是特指在互联网上流行的对当前社会问题、社会现象所产生的不同看法，是通过互联网传播的大众对生活中某些热点、焦点问题所持有的有较强影响力和倾向性的言论或观点，如图 1-2。



图 1-2 网络舆情检测概念图

经查，2020年2月3日，郴州市传播出“有一名确诊的新型冠状病毒感染的肺炎患者擅自脱离隔离，且有反社会情绪，并于2月2日逃脱，至今未找到”的谣言并在全市大范围传播，引发社会恐慌。

同日，钟祥市某超市员工吴某散布“柴湖新城某生鲜超市有新型冠状病毒肺炎”的谣言，引起部分群众恐慌，造成恶劣社会影响。

2月9日，有网民将网传的外地信息进行篡改，虚构，在微信上发布称北京市定于晚间对全市进行大面积消杀、消毒工作，产生不良影响。

这些案例皆表明舆情引导的重要性和迫切性，随着互联网的高速发展，信息传播速度越来越快，网络舆情的正确引导刻不容缓。

当网络出现大量信息时，大多数网民往往会感到盲目，不能客观辨别事件真假，这时他们便可以把官方对“舆论”的声音作为自身决策的依据，由此减少舆论的传播。舆情是疫情的风向标，舆情分析是紧迫且艰巨的，通过分析疫情下的舆论场得出最适合抗疫的规定和举措至关重要。

### 1.3 可行性分析

北斗卫星导航系统（BDS）是我国自行研制的全球卫星导航系统，它是继GPS、GLONASS和GALILEO之后的第四个成熟的卫星导航系统。随着北斗系统建设和服务能力的发展，其相关产品逐步渗透到人类社会生产和人们生活的方方面面，为全球经济和社会发展注入新的生机。北斗事业已然进入到全球服务新时代，融入到我们的生活。开通以来，系统运行稳定，持续为全球用户提供优质服务，开启全球化、产业化新征程。

其次，随着云计算、大数据、5G等新一代技术的广泛应用，生活中大量的行为轨迹都被数据化，旨在通过大数据分析给我们的生活提供更多的便利，这为此次抗疫大考期间运用信息化手段进行科学精准防控奠定了坚实基础。高度发达的移动互联网和大数据技术使得中国得以对疫情进行精准的追踪、隔离和统计，在众多的国家中，中国经济得以最先恢复。

基于北斗的疫情舆情分析系统可行性分析如下：

(1) 由于明确疫情分布的地点、范围以及当地舆情分布变化的急迫性，我们需要及时控制疫情，引导舆情。北斗作为我国自主建设的卫星导航系统，

拥有极大的作用，为此提供着高精度时空服务。拥有北斗这把国之利器，让疫情防控工作更加高效精准，疫情无处扩散，极大地增强人民战胜疫情的信心。

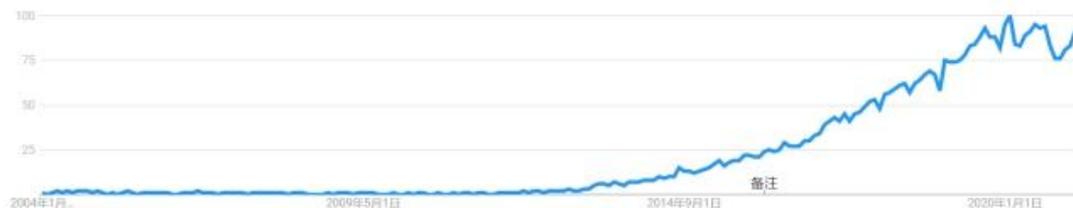


图 1-3 谷歌数据科学搜索热度

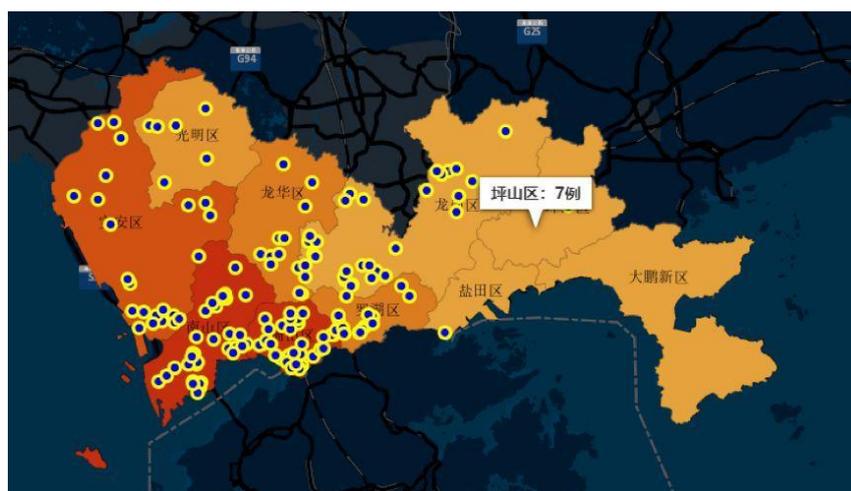


图 1-4 北斗定位下疫情分布

(2) 由于当前疫情下距离保持的长期需要，基于北斗高精度定位的无人设备，能有效减少人员接触。面对不断增长的物流配送压力，结合了北斗导航系统的舆情分析系统还可以保证疫情期间快递物流的效率，目前，我国已有数十万台北斗终端应用于物流行业，凭借先进的技术提供着精准实时定位服务，让配送效率更高，能够及时为疫情隔离人员和医务人员送去日常用品。



图 1-5 调配物资支持抗疫一线

(3) 由于疫情扩散的特性，及时获取并精准掌握患病人员及其密切接触者的行踪很有必要，“快、准、狠”把传染源控制住，是疫情防控的关键。北斗

与大数据、云计算等结合可以提供关键数据支撑。通过数据分析得到的信息加强巡防管控，建立健全社区的疫情防控体系，确保各项防控措施全覆盖。



目前，北斗三号已全面建成并组网完毕，现已全面建成，进一步提升了北斗系统服务能力，将区域导航扩展到全球导航。北斗拥有完备的北斗地基增强系统，凭借其出色的能力，有力地保障了北斗系统在疫情防控中的高精度工作。

## 2 系统分析

### 2.1 系统概述

全球有着众多兼容北斗的通导一体化芯片，《2020 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》显示，北斗在电子商务、智能手机、智能可穿戴设备等应用领域应用非常广泛。截至 2020 年，中国申请入网的手机有 400 多款具有定位功能，其中有近 300 款支持北斗定位。因此，使用这些设备的人员都能被获取精确的定位。

本项目基于高精度的北斗定位，结合大数据舆情分析，通过百度舆情平台、网络爬虫技术等获取新冠肺炎疫情相关的舆情数据，基于地图与地理信息技术将舆情信息与疫情发展情况结合进行分析，实时监控人员聚集现象，持续挖掘疫情相关热点事件，通过分析和处理相关舆情数据，直观展现当前网络舆情焦点及其变化，为政府及其相关部门有效引导和控制网络舆情，严控人群聚集提供一定的便利，对疫情的防控有极大效益。本系统将设计一款手机 APP 用于实时监管用户，有利于管理者更好地全局把控舆情并进行实时分析，通过分析结果报告及时进行有效引导管控，有利于用户实时了解最新舆论状况，及时接收相关信息。总系统框架如图 2-1 所示。

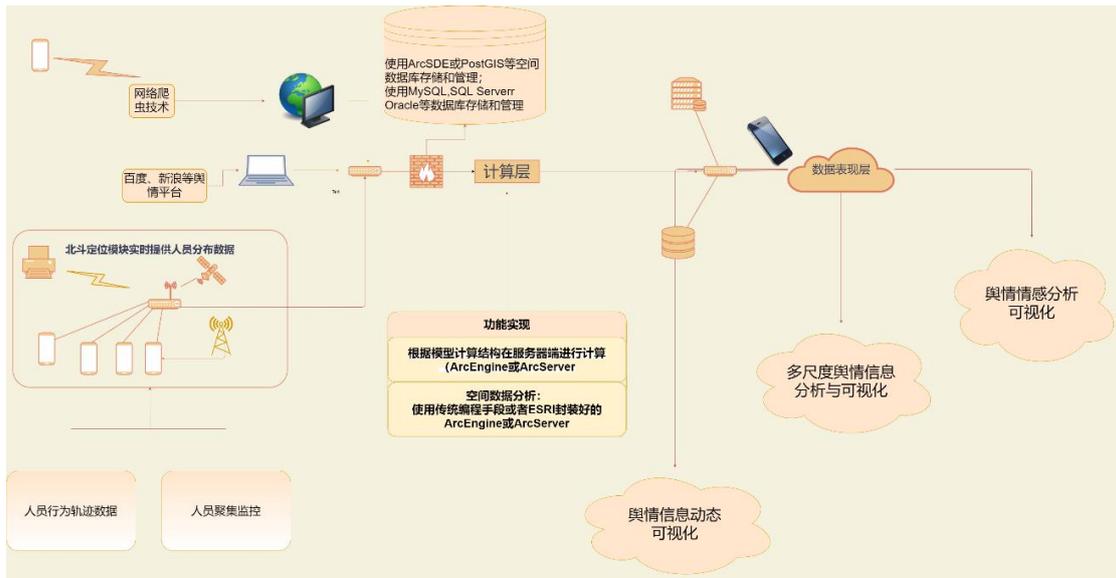


图 2-1 基于北斗的疫情防控舆情分析系统框架

## 2.2 系统实现

从疫情期间大数据舆情分析的角度看，大数据分析的核心算法在“分析疫情期间公共舆论、控制及调度医务工作者的流动、主导经济、政治政策执行和影响政策评估结果”等方面起着至关重要的作用。

一个完整的疫情大数据舆情分析系统主要包含信息数据系统、聚类分析系统和信息处理系统三个子集，系统框图如图 2-2。

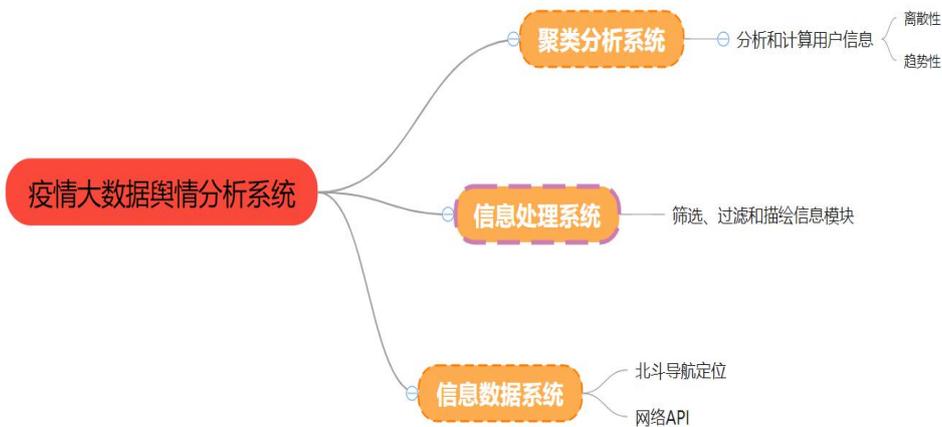


图 2-2 舆情分析系统框架

信息数据系统主要用来收集和存储通过北斗导航技术或网络 API 收集得到的数据信息。聚类分析系统着力于分析和计算用户信息离散性及趋势性。信息处理系统则是致力通过多功能算法筛选、过滤和描绘信息模块。在三个系统子集中，信息数据系统居于核心地位，对大数据舆情分析系统的运行起着至关重要的作用。

网络舆情的分析需要充分考虑数据的显性与隐性，分析数据的量级，将大概率事件与小概率事件（或称之为离散值）进行区分与平衡，看清事件现实内涵，深度挖掘数据的规模。

疫情期间网络舆情的背后是对所有通过北斗、网络 API 等多种渠道获得的多种多样数据的整合过程，在此基础上产生了一个可视化的数据分析结果，经

过呈现、比对、处理及分析，得出人员流动导向信息、群众思维导向信息等的  
数据分布趋势，从而方便决策者进行正确的管理与统筹规划，解决疫情期间舆  
情矛盾的现实问题。

目前通常使用的网络舆情方法主要包括网络调查方法、基于统计规则的模式  
识别方法等。网络舆情分析系统工作流程主要有四个步骤，它们分别是信息  
采集、元数据预处理、舆情监测分析、生成舆情报告。前三个步骤将分别使用  
不同的预处理及数据分析工具：

(1) 信息采集的实现主要基于北斗导航系统获取的位置信息以及网络爬虫  
技术，根据得到的大量数据建立数据库系统，以便之后的处理及分析过程使  
用；

(2) 元数据的预处理是指网页内容的提取和过滤、文本的分词和向量化、  
自然语言处理 NLP 技术可根据特征字词分析情感、文本的特征提炼及标识  
分析等；

(3) 舆情分析主要基于话题的识别和跟踪、文本集的自动摘要、文本倾  
向性分析、舆情热点发现等技术，我们将从网页 API 爬取的相关信息与北斗  
导航系统得到的居民活动定位热力图紧密结合起来。

基于 Hadoop 平台的高可扩展性、高容错性、高效性、高可靠性等优势，  
我们采用依托于分布式处理和分布式存储两大核心技术的 Hadoop 平台进行大  
数据分析，通过并行编程模型（MapReduce）实现并行计算，进而高效处理  
PB 级数据，获得疫情期间舆情分析报告。网络舆情分析框图如图 2-3 所示。

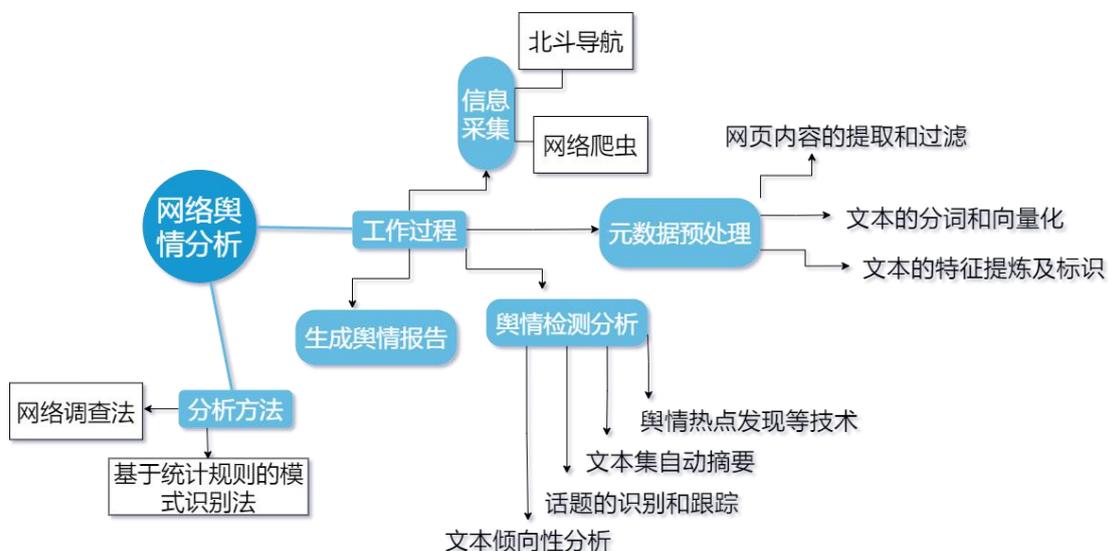


图 2-3 网络舆情分析框图

分布式是 Hadoop 平台的突出优势，它是多个处理机通过通信线路互联而  
构成的松散耦合的系统，它以全局方式管理系统资源，具有高度的内聚性、透  
明性、自治性、并行性、全局性，通过分布式系统可以进一步提高计算效率、  
增强可靠性。

基于北斗导航技术的疫情期间大数据舆情分析应满足以下基本要求：

(1) 信息抓取的准确性

疫情期间人们受年龄和心理特征影响，表现出对特定事物、事件（如口罩、  
核酸检测）的高关注度，因此信息提取应能尽可能的精准，针对大型社交网络  
等开展的舆情信息，针对不同社区的药店、核酸检测点进行定点绘制检测，根

据北斗导航系统提取的位置信息等数据，采用趋势分析法根据位置信息数据对已设置的定点轨迹趋势，进行热力图聚类分析。

### (2) 信息处理的及时性

疫情期间存在较强的实时性及不确定性，导致疫情期间网络舆情的发生、发展和变化速度都较为迅速，传统的舆情分析系统很难去处理，舆情信息自身的状态与价值也会随着时间和空间的变化而不断地发生变化。因此，如何在数据量暴发式增长的网站信息、位置信息中快速及时地捕获舆情相关信息，对后期的舆情处置工作显得至关重要。

### (3) 分析结果的准确性

正确的网络舆情分析结果有利于政府及时发现和跟踪疫情期间人们所关心的重大、敏感新闻和热门话题，监控疫情期间人们的人员流动变化及趋势，能为疫情防控办提供预测疫情拐点、研判隔离等相关措施的智慧支持，同时能及时掌握疫情环境下群众的焦虑情绪可能产生的舆情，并迅速启动相关应急预案，及时化解网络舆论危机，维护社会的稳定、安全。

基于以上基本需求，本项目设计的基于大数据网络舆情分析系统模型主要包括通过北斗导航系统进行热点站点（路径）发现、信息采集及格式化预处理、舆情分析、舆情报告等功能模块组成，如图 2-4 所示。

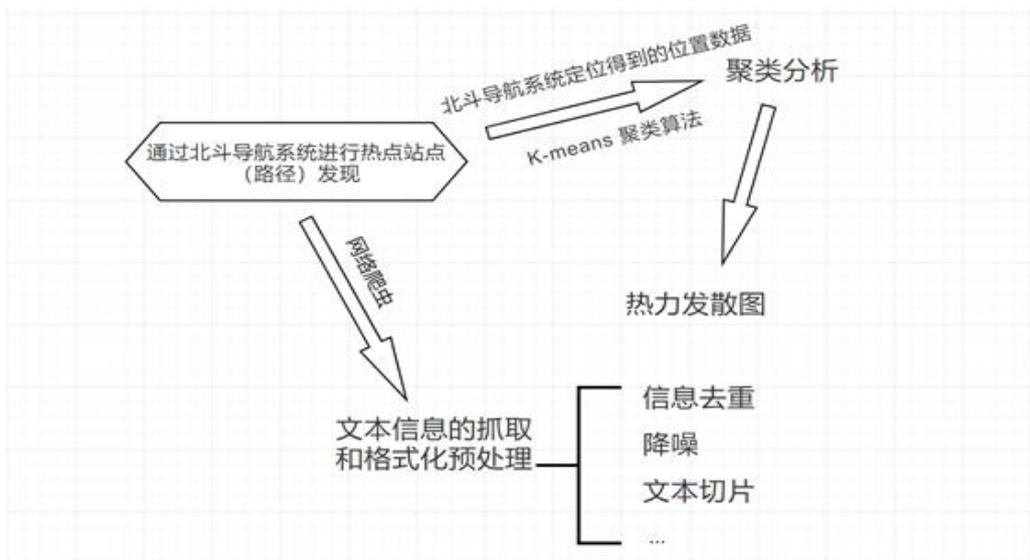


图 2-4 基于大数据网络舆情分析系统

热点站点（路径）发现模块位于系统最底层，通过北斗导航系统定位得到的位置数据进行聚类分析，得到热力发散图发现群众路径移动范围及偏好。结合网络爬虫技术从确定的热点站点进行文本信息的抓取和格式化预处理。格式化预处理包括信息去重、降噪、文本切片等。舆情分析模块是舆情系统的核心功能模块，主要完成热点发现、主题词识别构建、文本倾向性分析等功能。舆情报告模块主要基于舆情分析结果生产舆情分析报告，为管理者和决策者提供舆情处理智力支持。

基于北斗导航技术的疫情期间大数据舆情分析所采用的核心技术：

### (1) 静态计算和流式计算引擎相结合

静态计算是首先采用多通道采集各类数据，然后把数据存储在数据库中，根据设置的关键词、图片对存储的静态数据进行集中计算，得到相关的数据，然后进行多维度分析的一种科学计算方法。我们所运用的 Hadoop 是典型的大

---

数据批量计算架构，结合 Nutch 框架，由 HDFS 分布式文件系统负责静态数据的存储，并通过映射规约将计算逻辑分配到各数据节点进行数据计算和价值发现。

本项目采用的流式计算区别于传统的批量运算，同时也区别于实时计算，它们的关注点有所不同：流式计算更加关注数据以数据流形式输入、处理和输出，本身并不强调数据从入站到反映在最终结果的时延；而实时计算更加强调数据从产生到影响最终结果的时延要低，本身并不关心数据是以何种形式在系统中传递。

流式计算依托于 Storm、Spark Streaming、Flink 框架，对内存中流动的数据直接进行实时计算和分析，只需要存储实时数据，然后把计算和分析结果进行推送。

由于流式计算是对实时数据的计算，互联网舆情动态可以实时通过监控平台进行展现，有利于互联网研究机构及时掌握网络舆情动态，及时发现互联网上预警性舆情事件，能为及时处理网络舆情争取时间，对互联网舆情监控工作具有很大的帮助。

流式计算由于受内存和缓存空间的限制很难实现海量数据的计算分析，但静态计算占用大量的存储空间，计算速度相对比较慢，不能及时掌握网络舆情态势。

疫情期间基于大数据的网络舆情分析系统充分利用静态计算和流式计算各自特点，针对不同的业务需要使用不同计算技术，有效解决了网络舆情工作中存在数据分析跨度短和信息发现滞后问题，有效提升了网络舆情管控能力和分析能力。

## （2）文本聚类分析

采取经典的 K-means 聚类算法，对经过预处理得到的文本集进行聚类分析，聚类分析过程基于 MapReduce 模型来实现，提高分析速度和效率。

假设有 N 个待聚类的文章、图片、位置信息样本，K-means 聚类算法的基本步骤就是：

首先根据样本的属性进行归群，相同属性的样本归为一个群（如文本类群、图片类群、音视频类群），在一个类群内，每个样本归为一类，再计算每两个类之间的相似度，也就是样本与样本之间的相似度；

在一个类群内，寻找各个类之间相似度最大的两个类，把他们归为一类；然后再重新计算新类与各个旧类之间的相似度；

重复上述步骤直到所有相似度较高的文章、图片、位置信息点都归为一类。

实际情况下为解决话题特征发生改变问题，我们综合时间权重、文章、图片等特征进行判断，在时间相隔较长的情况下从新产生的聚类结果。

## 3 APP 设计

本款 APP 在本项目中起到重要的用户位置数据采集功能和一定的舆情分析结论展示功能。按照界面框架的特点，将主要的内容分为：舆情分析结论展示、疫情位置信息、防疫信息科普三个模块。框架图如图所示：

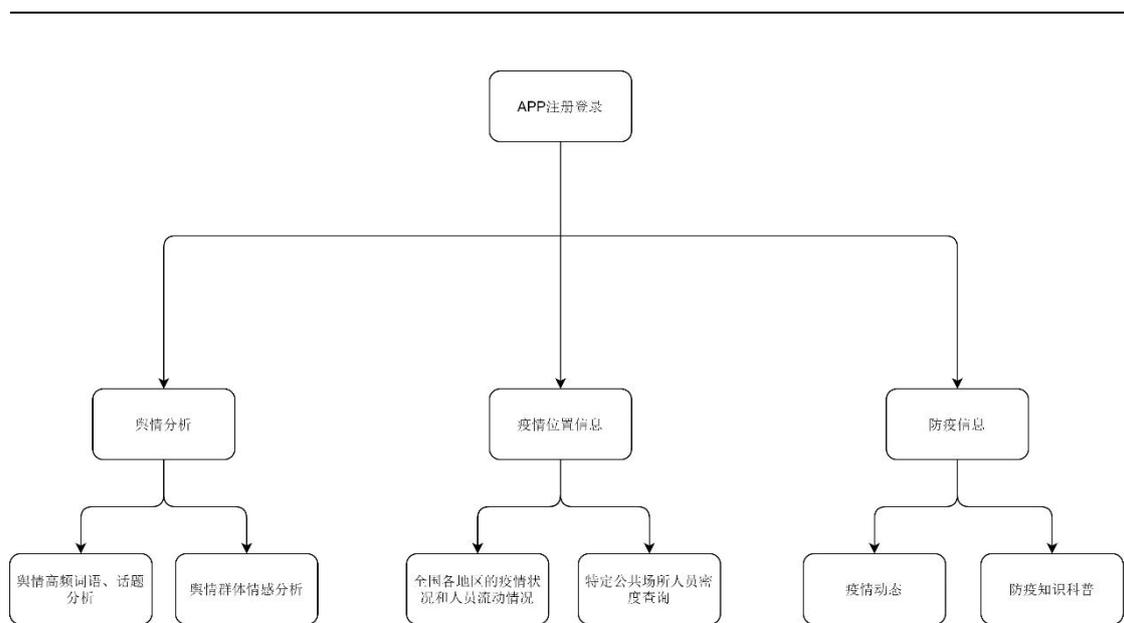


图 3-1 APP 框架设计图

### 3.1 舆情分析结论展示模块

舆情分析结论展示模块集合了多种可视化的舆情分析结论，如舆情高频词云图、舆情情感分析可视化等。

#### 3.1.1 舆情高频词云图

通过网络获取群众搜索浏览的内容，总结出大家关注的高频词语。以词云图的方式展现出来，清晰地展现出群众疫情期间所关注的问题，再结合通过北斗定位技术分析出的人员流动、聚集情况，可以帮助政府部门和相关企业高效地开展工作。



图 3-2 舆情高频词云图页面

### 3.1.2 舆情群体情感分析

展示一定区域内民众在疫情期间或对于某件热点事件持有的态度与情感倾向。



图 3-3 舆情群体情感分析页面

### 3.2 疫情位置信息模块

通过互联网、移动通信网络与北斗导航定位技术相结合，分析地域人员流动情况和特定公共场所人员密度的查询。为民众疫情期间的出行，与相关公共事件的决策给出一定的指导意见。

#### 3.2.1 定位数据获取

Google 宣布开放 Android 系统中的 GNSS 数据，也就是说我们现在可以获得搭载 Android 系统 7.0 及以上版本移动设备的 GNSS 原始数据。通过 Android 系统的 API 接口，我们除了可以获得移动终端的位置、速度、时间、观测卫星的分布这些基本信息还可以获得终端中 GNSS 芯片输出的伪距观测值、相位观测值、多普勒观测值。

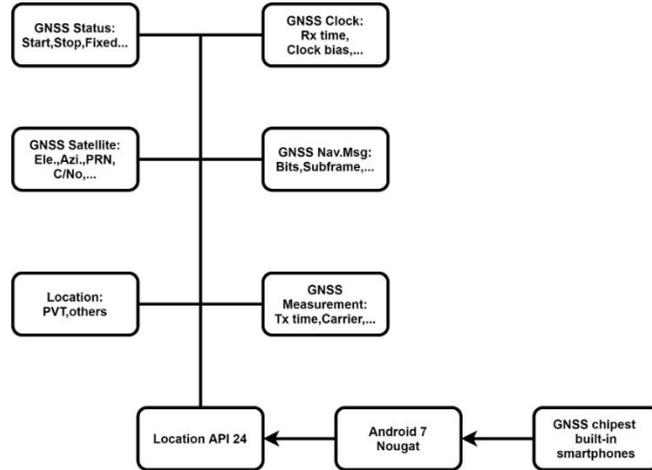


图 3-4 Android 开放的数据接口

对于搭载 Android 7.0 以上系统的终端，我们可以通过在 APP 开发中直接编写程序通过指定的接口函数获取基本的位置信息和相位、信噪比、多普勒等观测数据，为有特定需求时实现较高精度定位提供条件。当然我们也可以利用现有的 GNSSLogger 等软件记录各种格式的观测数据。

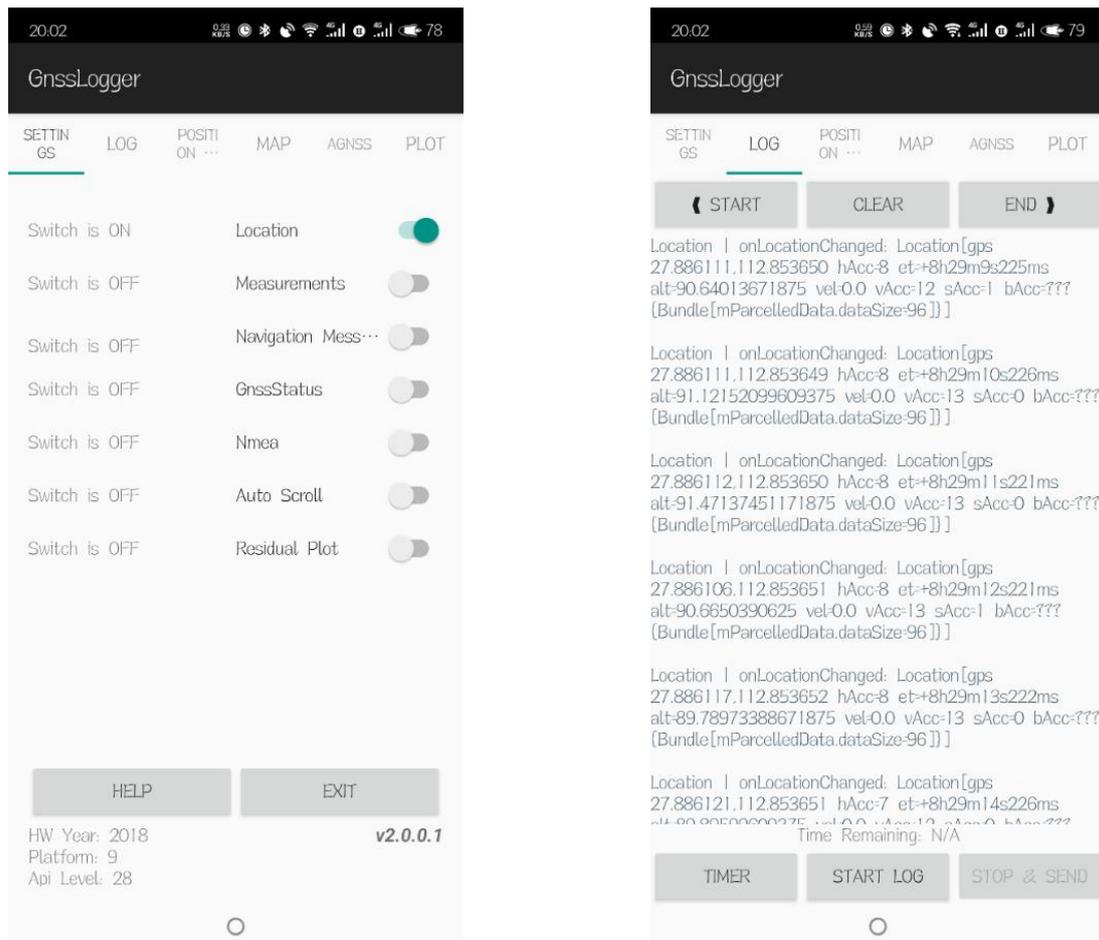


图 3-5 GNSSLogger 记录的位置信息

从 Android 7.0 开始，开发者都可以为自己的应用程序获取到原始 GNSS 观测数据。Demo 代码如下：

```

private String toStringClock(GnssClock gnssClock) {
    //将GPS接收器时钟的值转换为字符串
    final String format = "%-4s = %s\n"; //定义数据显示格式, "%-4"表示左对齐、不足四位补足四位
    StringBuilder builder = new StringBuilder("GNSS时钟:\n");
    DecimalFormat numberFormat = new DecimalFormat("#0.000"); //定义格式化数字

    if (gnssClock.hasLeapSecond()) {
        builder.append(String.format(format, "闰秒 (LeapSecond)", gnssClock.getLeapSecond()));
    }
    builder.append(String.format(format, "硬件时钟 (TimeNanos)", gnssClock.getTimeNanos())); //获取以纳秒为单位的GNSS接收器内部硬件时钟值
    if (gnssClock.hasTimeUncertaintyNanos()) {
        //获取硬件时钟的误差估计 (不确定度)
        builder.append(String.format(format, "时钟误差估计 (TimeUncertaintyNanos)", gnssClock.getTimeUncertaintyNanos()));
    }

    if (gnssClock.hasFullBiasNanos()) {
        //如果存在接收机本地时钟总偏差, 则显示
        builder.append(String.format(format, "总时钟偏差 (FullBiasNanos)", gnssClock.getFullBiasNanos()));
    }

    if (gnssClock.hasBiasNanos()) {
        //亚纳秒偏差
        builder.append(String.format(format, "亚偏差 (BiasNanos)", gnssClock.getBiasNanos()));
    }

    if (gnssClock.hasBiasUncertaintyNanos()) {
        //FullBiasNanos和BiasNanos的误差估计
        builder.append(String.format(format, "时钟偏差估计 (BiasUncertaintyNanos)", numberFormat.format(gnssClock.getBiasUncertaintyNanos())));
    }

    if (gnssClock.hasDriftNanosPerSecond()) {
        //以每秒纳秒为单位获取时钟的漂移
        builder.append(String.format(format, "时钟漂移 (DriftNanosPerSecond)", numberFormat.format(gnssClock.getDriftNanosPerSecond())));
    }

    if (gnssClock.hasDriftUncertaintyNanosPerSecond()) {
        //时钟偏差的估计
        builder.append(String.format(format, "时钟漂移估计 (DriftUncertaintyNanosPerSecond)", numberFormat.format(gnssClock.getDriftUncertaintyNanosPerSecond())));
    }

    //获取硬件时钟不连续的计数, 即: 每当gnssClock中断时, 该值+1
    builder.append(String.format(format, "中断计数 (HardwareClockDiscontinuityCount)", gnssClock.getHardwareClockDiscontinuityCount()));
    return builder.toString();
}

private String toStringMeasurement(GnssMeasurement measurement) {
    //将GNSS测量结果转换为字符串
    //定义显示格式
    final String format = "%-4s = %s\n";
    StringBuilder builder = new StringBuilder("GNSS测量结果:\n");
    DecimalFormat numberFormat = new DecimalFormat("#0.000");
    DecimalFormat numberFormat1 = new DecimalFormat("#0.000000");

    builder.append(String.format(format, "卫星ID", measurement.getSvid()));
    builder.append(String.format(format, "卫星类型", measurement.getConstellationType()));

    //获取进行测量的时间偏移量 (以纳秒为单位)
    builder.append(String.format(format, "测量时间偏移量", measurement.getTimeOffsetNanos()));
    builder.append(String.format(format, "同步状态", measurement.getState()));
    builder.append(
        String.format(
            format,
            "伪距速率",
            numberFormat.format(measurement.getPseudorangeRateMetersPerSecond()));
    );
    builder.append(
        String.format(
            format,
            "伪距速率不确定度",
            numberFormat.format(measurement.getPseudorangeRateUncertaintyMetersPerSecond()));
    );
    if (measurement.getAccumulatedDeltaRangeState() != 0) {
        builder.append(
            String.format(
                format, "累积增量范围状态", measurement.getAccumulatedDeltaRangeState()));
        builder.append(
            String.format(
                format,
                "累积增量范围",
                numberFormat.format(measurement.getAccumulatedDeltaRangeMeters()));
        );
        builder.append(
            String.format(
                format,
                "累积增量范围不确定度",
                numberFormat1.format(measurement.getAccumulatedDeltaRangeUncertaintyMeters()));
        );
    }

    if (measurement.hasCarrierFrequencyHz()) {
        builder.append(
            String.format(format, "信号载波频率", measurement.getCarrierFrequencyHz()));
    }

    if (measurement.hasCarrierCycles()) {
        builder.append(String.format(format, "载波周期数", measurement.getCarrierCycles()));
    }

    if (measurement.hasCarrierPhase()) {
        builder.append(String.format(format, "RF相位", measurement.getCarrierPhase()));
    }

    if (measurement.hasCarrierPhaseUncertainty()) {
        builder.append(
            String.format(
                format, "RF相位不确定度", measurement.getCarrierPhaseUncertainty()));
    }
    builder.append(String.format(format, "多路径效应指示器", measurement.getMultipathIndicator()));

    //
    if (measurement.hasSnrInDb()) {
        builder.append(String.format(format, "信噪比", measurement.getSnrInDb()));
    }

    if (android.os.Build.VERSION.SDK_INT >= android.os.Build.VERSION_CODES.O) {
        if (measurement.hasAutomaticGainControlLevelDb()) {
            builder.append(String.format(format, "自动增益控制级别", measurement.getAutomaticGainControlLevelDb()));
        }
        if (measurement.hasCarrierFrequencyHz()) {
            builder.append(String.format(format, "载波频率", measurement.getCarrierFrequencyHz()));
        }
    }

    return builder.toString();
}

```

图 3-6 获取 Android 7.0 设备原始 GNSS 数据的 DEMO 代码

### 3.2.2 疫情期间人员流动情况

人员跨区域流动是疫情扩散的最主要途径, 及时了解与有效控制人员流动在疫情期间是非常重要的。



图 3-7 人员流动情况查询页面

### 3.2.3 公共场所人员密度查询

借助北斗导航系统精准定位的能力，APP 可以实时在地图上会显示各个公共场所的人员密集程度，方便需要出门的用户有效并科学地选择合适的时间、地点和出行路线出行，避免居民盲目出行，去往人员密度过大的地点从而增加感染风险。

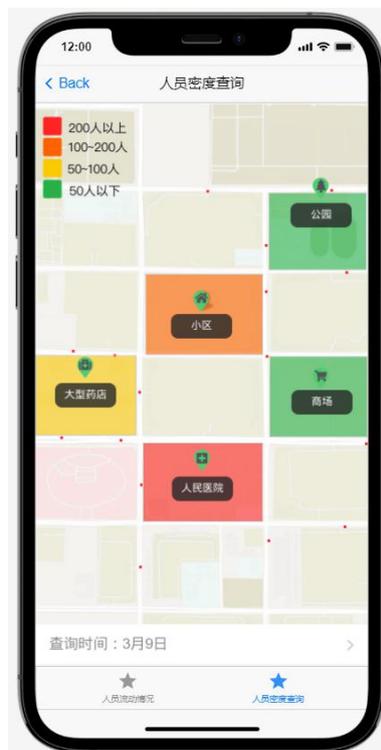


图 3-8 人员密度查询页面

### 3.3 防疫信息

APP 中集成的一个防疫信息传播平台，分为疫情动态、防疫知识科普两个部分。疫情动态区能够定时更新有关疫情的新闻讯息，防疫知识科普区则会发布各种防疫知识并针对一些疫情中的谣言进行辟谣。

#### 3.3.1 疫情动态

当用户在 APP 中进入该界面上方即可看到每天更新的实时疫情动态，包括全国和所在省份的确诊人数、死亡人数、治愈人数等数据动态。同时，用户在该界面可了解国家、地方政府、社区管理所采取的各项举措和疫情研究的最新进展。



图 3-9 疫情动态页面

#### 3.3.2 防疫知识科普

APP 每日为用户推送民众高频搜索的疫情科普知识，以浅显易懂的语言介绍防护知识、解读疫情最新进展、帮助公众正确认识疫情发展态势、掌握疫情防控知识、提高自我防护意识和能力，既减少感染病毒的风险，又避免出现恐慌情绪，减少谣言的传播，增强民众抗击疫情的信心。该界面图文并茂，并结合具体实例来向用户深入浅出地阐述专业的疫情知识。



图 3-10 防疫知识科普页面

## 4 创新点及未来展望

### 4.1 创新点分析

(1) 产品时效性更强、更加安全可靠

结合北斗导航技术、大数据分析技术，实时监控人员聚集现象，持续挖掘疫情相关热点事件，通过对相关舆情数据的处理和分析，直观展现当前网络舆情焦点及其变化，为政府及其相关部门有效引导和控制网络舆情，严控人群聚集提供便利，对疫情防控有着深远的意义，完善了“运用大数据核心技术进行舆情分析”的核心思想。

(2) 设计结合 Nutch 框架+大数据 Hadoop 技术的实时舆情分析智能云平台实现方案

运用大数据技术进行舆情分析的手段再次升级，不同于传统的数据分析方式，我们采用了静态计算和流式计算引擎相结合的大数据分析手段。云平台有规模大、虚拟化、可靠性高、通用性强、高可扩展性和廉价的优点。

运用 Hadoop 典型大数据批量计算架构，构建高扩展、低成本、成熟的生态圈。结合 Nutch 框架，并通过流式计算进行实时数据的计算，增强时效性。数据的储存采用分布式存储的方法，提高了系统的稳定性、扩展性、实际操作性和存取效率，将不稳定因素降到最低。

(3) 设计“疫情期间北斗高精度实时舆情分析 APP”

系统将北斗导航系统采集到的热力图等数据实时共享发送至手机移动 APP 端，并结合通过网络爬虫技术爬取得到的疫情相关热点事件，基于信息图表对舆情情感等进行可视化交互分析。系统通过手机摄像头可以完成对用户的人像采集，应用机器视觉实现实名身份认证，利用北斗导航技术可进一步监测及跟

---

踪用户的活动区域。当用户途径高风险场所时 APP 能自动监测及提示,此产品如能广泛应用,将能对疫情防控产生较好的效益。

#### 4.2 未来展望

北斗卫星导航系统作为我国战略性高新技术,其创新应用对我国经济发展和居民生活水平具有重要意义,备受党中央和各级政府的高度重视,是当前高新技术发展领域的一大热点。同时,大数据已成为国家的战略性资源,将北斗卫星导航系统与大数据结合运用不仅有利于政府掌握公民健康数据,而且有利于及时追踪个体活动轨迹,建立起预警检测、公共安全与应急管理、公众舆情等数据管理平台。基于北斗的疫情防控舆情分析系统仍处于起步阶段,系统的不断完善必将实现北斗与大数据的深度融合,促进突发公共事件防控的解放和发展,有效提高国家治理能力。

#### 参考文献

- [1] 蒋一,周予. 大数据环境下网络舆情的分析与研究[J]. 福建电脑, 2020, 36(10):69-71.
- [2] 吕书林. 基于 web 日志的高校网络舆情分析系统模型研究[J]. 大众标准化, 2020 (20):181-182.
- [3] 袁志远,徐怀超,郭金顺,冯盼. 基于大数据的网络舆情分析系统设计与实现[J]. 西藏科技, 2020(12):76-80.
- [4] 丁芳桂,郑创伟,谢志成. 媒体舆情大数据分析技术的应用与实现[J]. 中国报业, 2020(19):26-27.
- [5] 汤妙吉,邱跃. 面向大数据的政府舆情监测分析可视化模型与方案设计[J]. 图书情报导刊, 2021, 6(01):72-79.
- [6] 廖灿亮. 舆情大数据研究的三个阶段[J]. 中国报业,2020(19):50-51.

---

## 基于北斗定位技术的水体富营养化监测预警系统

作者：章航滔、陈世豪、刘翼翔、包姿

指导教师：吴亚联

学校：湘潭大学

---

**【摘要】**：水体富营养化被称为“生态癌症”，它的防治是水污染问题中最为困难和复杂的问题，其形成机理复杂，暴发又颇具偶然性，对工农业生产和饮用水安全构成了严重的威胁，靠传统的监测手段必然无法解决监测与预警的问题。目前，国际上尚无有效制止富营养化出现的办法，只能对其进行监控和预警，因此，加强监控与预警成为防治的“最初一公里”。为解决科学预测水体营养化状态发展趋势的问题，采用机理分析与人工智能相结合的建模方法，开发一个针对河、湖等淡水域的营养化监测与预警系统，以提高环境保护部门决策能力，实现水域的防灾减灾。本系统基于北斗定位技术、物联网技术、嵌入式技术和深度学习，利用智能浮标在线监测获取水质参数，利用人工智能引擎平台（Imaster NAIE）开展数据处理，并搭建一体化展示平台，实现水域营养化程度实时监测、水体藻华的暴发时段及影响程度的短期预测，工作人员可利用北斗定位技术进行灾害溯源，精确定离目标区域最近的浮标并查看此处水域分析结果，以实现人工针对性、定点化的预先防控，提前阻断灾害的大面积爆发。本系统能为富营养化的防治提供必要的理论技术支持，对水域进行长期、宏观、动态研究，助力保护我国淡水资源、保障供水安全。

**【关键词】**：北斗定位，浮标式，水体富营养化，人工智能引擎

**【Abstract】** Eutrophication of water bodies is called "ecological cancer". Prevention and control is the most difficult and complex problem in water pollution. Its formation mechanism is very complicated, and the outbreak is very accidental, posing a serious threat to industrial and agricultural production and drinking water safety. Therefore, traditional monitoring methods cannot solve the problem of monitoring and early warning. Currently, there is no effective way to prevent the emergence of eutrophication in the world. Only monitoring and early warning can be carried out. Therefore, strengthening monitoring and early warning has become the "first kilometer" of prevention and treatment. In order to solve the problem of scientifically predicting the development trend of the nutritional status of water bodies, a modeling method combining mechanism analysis and artificial intelligence is used to develop a nutrition monitoring and early warning system for freshwater areas such as rivers and lakes to improve the level of decision-making. Capacity building of environmental protection departments to achieve disaster prevention and mitigation in waters. The system is based on Beidou positioning technology, Internet of Things technology, embedded technology and deep learning. It uses smart buoys for online monitoring to obtain water quality parameters, uses an artificial intelligence engine platform (Imaster NAIE) for data processing, and builds an integrated display platform to realize the water area. Real-time monitoring of

---

nutrient levels, short-term prediction of the outbreak period and the impact of algae reproduction on the water body, staff can use Beidou positioning technology to track the source of the disaster, accurately determine the buoy closest to the target area and view the water analysis results here to achieve manual goals. Pre-prevention and control of nature and designated locations can prevent large-scale outbreaks of disasters in advance. The system can provide the necessary theoretical and technical support for the prevention and treatment of eutrophication, and carry out long-term, macroscopic and dynamic research on the water area, which will help protect our country's freshwater resources and ensure the safety of water supply.

**【Key words】** Beidou Positioning, buoy type, water eutrophication, artificial intelligence engine

---

## 前言：社会背景

随着人类社会迅速发展、城市化进程的不断推进，自然水体不断遭到破坏和污染，水体富营养化已成为最为突出的世界性水环境问题之一。联合国一项关于水体调查表明：在全球范围内 30%--40%的湖泊、水库均存在不同程度的水体富营养化问题。

北美五大湖是全世界重要湖泊群之一，其中只有苏必利尔湖水质尚好，其余各湖水体均处于富营养状态，其主要污染物为毒性物质。杀虫剂、杀菌剂、除草剂等农药类污染物与日常生活中经常使用到的绝缘类、洗涤类等有毒物质长期被排入湖泊，严重污染了湖水和底泥。欧洲湖泊面临最大问题是湖泊富营养化问题和湖泊酸化问题。在接受统计的 96 个湖泊中仅有 19 个处于贫营养状态，其余 80%的湖泊都受到不同程度的氮、磷元素污染，水化现象严重，水质状况较差。

近年来，我国对淡水水域水体富营养化的治理状况表现为“治理力度加大，控制收效不佳”。据中国科学院南京地理与湖泊研究所一份关于巢湖水质变化趋势分析报告显示：2012- 2018 年间，巢湖水质改善的效果变缓，虽然氨、氮浓度继续下降，但 2018 年蓝藻水华的面积反而增加，水体总氮、总磷浓度也反弹增高。太湖蓝藻水华仍处于高发态势，特别是 2017 年，太湖的蓝藻水华强度和总磷浓度双双反弹。两大湖部分水体严重的富营养化甚至已经影响到周边城市居民的人身安全。除太湖、巢湖外，我国其他湖泊、河流甚至水库都不同程度地受到水体富营养化所带来的不利影响。

■ 国内水体富营养化污染状况

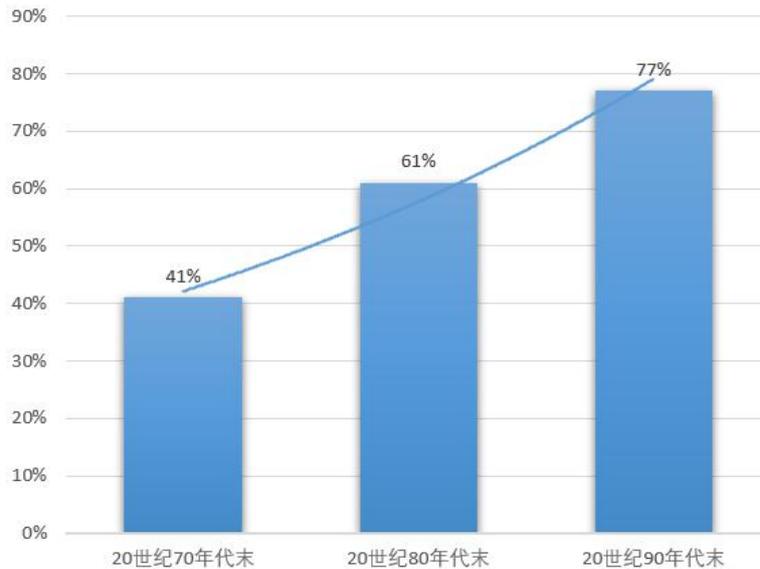


图 0-1 国内水体富营养化污染状况

太湖地区污染物总磷各来源比例

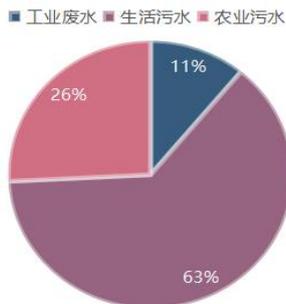


图 0-2 太湖 TP 来源比例

太湖地区污染物总氮各来源比例

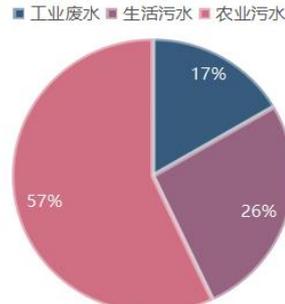


图 0-3 太湖 TN 来源比例

水华大面积、长时间地频繁暴发，不仅破坏了湖泊水体的正常功能，给渔业资源造成巨大损失，更是严重威胁城镇居民饮用水安全。现已成为破坏生态文明建设、制约经济社会可持续发展的主要矛盾之一。

水体富营养化是一个世界性的水环境问题，在世界范围内具有普遍性。由于富营养化的发展包含着一系列生物、化学和物理变化的过程，并与水体化学物理性状、湖泊形态和底质等众多因素有关，其演变过程十分复杂，研究所涉及的学科多种多样。现阶段尚无行之有效的方法控制水体富营养化的发生。水华一旦大规模暴发，控制难度极大，治理成本显著提高。据统计，我国每年需要投入大约 1000 亿元以上资金用于湖泊治理。因此，实时监测各项水体状态指标，以便提前预测水体富营养化演变的可能，具有非常重要的现实意义。一来可以节约就地探测成本，二来可以降低后续治理难度。

目前国际上并没有对水体营养化进行监测预警的主流产品。

当前，国内外对水体营养化的监测预警方式主要有两种，一是利用传统人工方式监测水域，利用船只进行采样、化学分析。这种方式耗材且费时、费力，不能很好地起到预警作用；二是利用卫星遥感实时数据采集。但是，这种监测方式费用高昂且受天气影响极大，难以大范围、实时性地完成监测工作。针对这一情况，为实现水域防灾减灾，保护我国淡水水域水资源、保障供水安全，建

设先进的监测预警体系来准确预警灾害，以实现人工针对性、定点化的预先防控，提前阻断灾害的大面积爆发，极具实用意义。

如何实时、科学地预测河湖水体富营养化的发生，以便于提前采取相应措施减少其带来的不利影响是我国水资源保护工作上亟需解决的重大问题。因此建立更加符合水体实际的多维动态预警模型，开发具有水体营养化实时状况监测功能的预警系统，是我们现阶段需要努力的方向。而基于北斗定位技术的智慧水域卫士正是为了解决上述问题而生的。

## 1 创新方案

### (1) 采用智能浮标区域化投放并组网的方式开展实时水域监测

水体富营养化的暴发颇具偶然性，靠传统的监测手段必然无法有效解决监测与预警的问题。常规船只和人工监测富营养化需要采样进行生物、化学分析，既耗材又费时费力；飞机和卫星监测费用高，且受天气等条件限制。

本系统采用浮标区域化投放开展监测，能有效解决这些痛点问题。

### (2) 利用人工智能引擎平台生成用于富营养化预警的深度学习模型

富营养化的发生过程具有高维非线性和复杂性，学者对其机理还没有一个完整清楚的诠释，直接基于机理建用数学模型建立的预测系统（如磷模型、水体动力学模型等），研究效果不理想。

本系统利用了深度学习训练并建立的预测模型，避免了机理不清给建模带来的问题，不依赖于精确数学模型，显示出自适应和自学习的能力，能揭示营养化程度动态变化的内在规律，逐步提高准确度。

(3) 采用云计算+边缘计算组合（AI+IOT）使得通信成本不到单独使用云计算的一半。

以 Raspberry Pi 为边缘计算的主要载体，基于其强大的计算能力直接对终端设备的数据进行过滤分析，减少从设备到云端的数据流量，节能、省时、高效。

### (4) 总结

综上所述，该产品将人工智能与机理分析应用于水域生态，同时将云计算与边缘计算相组合，以区域化投放并组网的方式对水质进行实时监测，采集水域大数据并利用人工智能引擎算法实现了对水体富营养化程度与其发展预测进行计算。

## 2 功能概述

表 2-1 水体富营养化监测预警系统功能表

功 能	内 容
水质数据实时监测	通过各项传感器对水中的实时数据进行监测
BDS 定位	通过北斗系统确定每个智能浮标的位置，以辨别每个区域的水体营养化程度
水体富营养化程度监测与短期预警	通过人工智能算法，利用监测到的数据计算出水体富营养化程度以及赤潮、水华的发生概率
通过网页实时查看数据	利用 web 客户端和后端服务器，将所有的数据在网页中具体形象地展示出来

### 3 作品解析（技术参数）

#### 3.1 作品视图及细节图

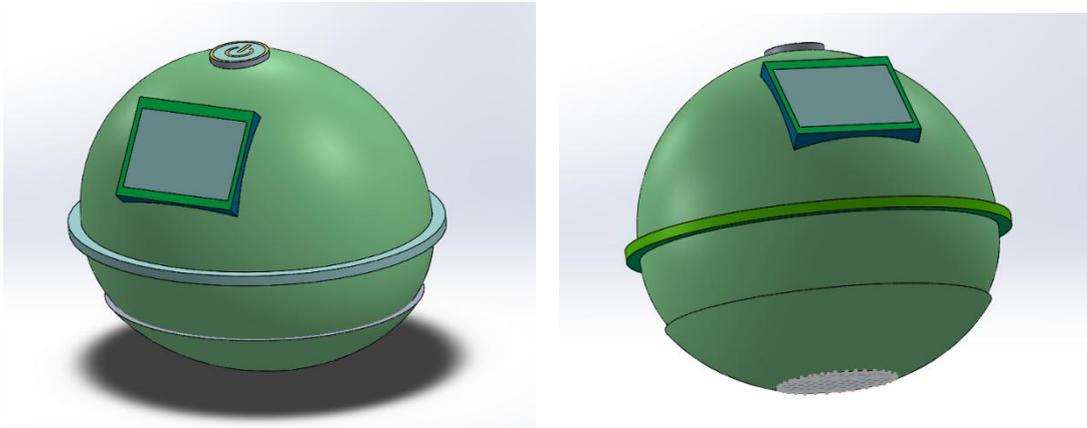


图 3-1 智能浮标原型机 3D 效果图

下面介绍智能浮标所搭载的模块，并附功能卡。



核心控制电路  
主控电路板：树莓派  
数量：1  
任务：整个系统的总控制电路，处理各个传感器传来的信号数据，输出显示屏与警示模块的控制信号，完成与 Web 客户端间的通信

图 3-2 核心控制电路



北斗定位模块  
模块名称：ATK-S1216  
数量：1  
功能：基于北斗卫星进行定位

图 3-3 北斗定位模块



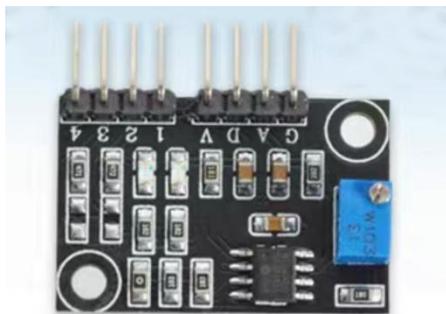
嵌入式电源模块  
 模块名称: PiSugar 2 Pro  
 数量: 1  
 功能: 为本地控制主板提供稳定电源

图 3-4 嵌入式电源模块



通信模块  
 模块名称: Air724ug-Na  
 功能: 内置 MICRO 卡槽, 驻波比低, 实现远距离高速数据传输

图 3-5 通信模块



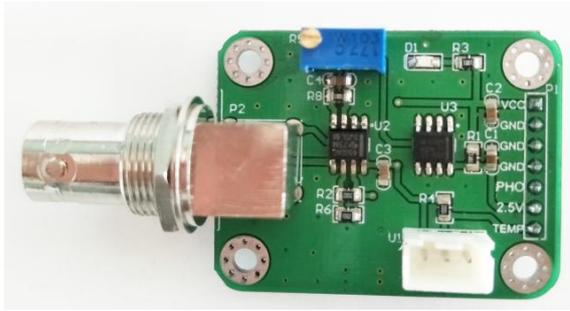
浊度传感器模块  
 型号: TS-300B  
 数量: 1  
 功能: 检测水中光线透过良, 实现水浊度程度的测量。

图 3-6 浊度传感器模块



水温传感器模块  
 型号: B3950—NTC  
 数量: 1  
 功能: 实时监测水温, 以模拟信号的形式输出精确的水温。

图 3-7 水温传感器模块



PH 传感器模块  
 型号：E-201-C  
 数量：1  
 功能：实时监测水的 PH 值，以模拟信号的形式返回精确的 PH 值。

图 3-8 PH 传感器模块



OPR 传感器模块  
 型号：RMD-ISRP10  
 数量：1  
 功能：对水质的 ORP 进行连续的监测并返回数据，便于多方面对水质进行处理。

图 3-9 OPR 传感器模块



叶绿素传感器模块  
 型号：YG-660  
 数量：1  
 功能：持续检查水中叶绿素的含量，以结合其他数据共同上传、计算、分析。

图 3-10 叶绿素传感器模块

### 3.2 技术参数

表 3-1 技术参数表

信息接受距离	水域露天环境下 10km
北斗定位精度	2.5CEP
硬件工作电压	5V
系统工作频率	10MHZ
工作环境温度	-10~50°C
风力环境	小于 8 m/s
工作水域环境	淡水域

### 3.3 机载北斗导航专题技术报告

智能浮标上搭载了 ATK1218-BD GPS+北斗双模定位模块。该模块尺寸小，性能出色，配备了 IPX 接口，带有源天线 98；模块自带后备电池，可保存星历数据，经过测试，该导航模块的定位精度在 2m 左右，完全可以满足机器人在社区中运动的定位要求。具有定位快、定位准确和低功耗等优点。经过测试，该导航模块的定位精度在 2m 左右，完全可以满足装置在水域通讯中的定位要求。

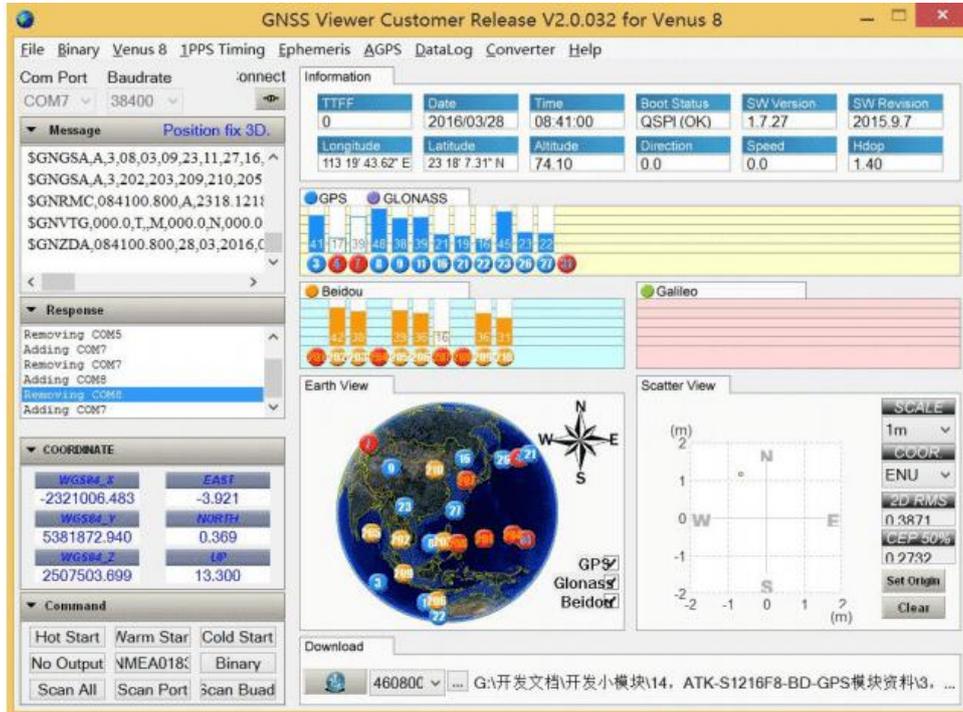


图 3-11 浮标载北斗模块实时卫星定位电脑端配置

### 3.4 北斗定位上传终端

浮标的位置信息可随时通过车载输传模块传回到手持终端或者电脑终端上，与手持终端或电脑终端进行通信。具体通信内容：当前运行状态、当前经纬坐标、与终端间距离、当前扫描到的北斗卫星数量、运行控制指令等。

为手持终端屏幕显示数据图，屏上显示为当前经纬坐标，与手持终端间距离，运行速度，扫描到的卫星数。

## 4 应用前景

本作品是一种基于人工智能引擎的浮标式水体富营养化实时监测与预警系统，集成物联网技术、深度学习、传感器技术、嵌入式技术、云服务器技术，开发具备水体监测、灾害预警、环境保护功能于一体的智能水质监测预警系统。此系统顺应万物互联与生态智能化的发展趋势，具有良好的应用前景。经市场分析，本系统符合近几年科技与事实热点，无论是在未来前景还是在市场发展趋向都占据有利地位。

#### (一) 应用市场

由于国家对环保的重视，在污水排放的管控方面越来越严格。并且随着生活水平的提高，人们对于高质量饮用水的需求越来越大。同时由于国家经济日益发达，人民物质生活水平日益提升，可以大胆地预测：“水质保护”将会是国家政策的一大趋势，且目前市场上与本产品相似的产品极少，该系统的产品化

能辅助解决水体富营养化问题，帮助环境保护部门、从事水域养殖业的人员解决水体富营养化灾害的短期预测问题，并能帮助实现定点化针对性治理。因此本产品有极大的应用市场。根据产品的传感器种类与特点，该产品可以适应以下几种市场：

- 湖泊水体生态环境检测预警；
- 饮用水源地蓝绿藻水华预警；
- 水产养殖在线监测预警方案；
- 城市湖泊水质检测及预处理；
- 旅游景区湖泊水体预警监测；
- 水库，河川水质污染检测记录。

### （二）应用人群

·水产养殖业人员：作为一个水产养殖的人员，如果能够提前预知水质的变化，就能在第一时间人工进行干预，从而在最大的程度上减少经济损失，产出优质的水产品，本产品可以对水产养殖进行在线监测预警。

·各省、自治区、直辖市的水利行政主管部门：城市湖泊的清澈，不仅能美化城市的形象增加居民的城市居住幸福感，城市湖泊作为城市生态系统的重要组成部分，能够承担调节市区昼夜温差，改善空气质量的作用，本产品可以承担城市湖泊水质检测及预处理。

·负责监督饮用水的卫生部门：作为饮用水的监督部门，饮用水源地的环境安全问题一定是关注的重点，如果能够对水源地蓝绿藻水华进行提前预警，具有极其重要的价值。

·旅游景区的管理工作人员：作为旅游景区，青山绿水自然是游客们趋之若鹜的地方，要持续保持生态环境的良好，营造出良好的休闲度假的氛围，关键是提前预测，体检预警，提前整改，产品可以对旅游景区湖泊水体预警监测。

## 5 技术报告



图 5-1 系统工作流程示意图

### 5.1 北斗实时定位

#### 5.1.1 软件设计

##### （1）实时定位

能实时得到智能浮标的精确位置坐标是本系统功能实现的关键之一。

通过北斗定位的绝对定位方法，利用北斗定位模块 L76X GPS Module，可以方便的获得装置此时的经纬度坐标、与终端间的直线距离、当前扫描到的北斗卫星数量，并将其显示至终端（终端界面如图 5-2 所示）。考虑到定位精度受各类不可控因素（如大气电离层、地面建筑物、森林、水面）影响。计算结果可能会出现偏差。所以浮标每隔一个时间段都会传输相应经纬度数据至后端

云服务器，通过对经纬度数据进行求解平均值来实时显示具体位置，减少不同时间段的天气及地形等因素对定位精度的影响。实时定位部分代码如图 5-3 所示：

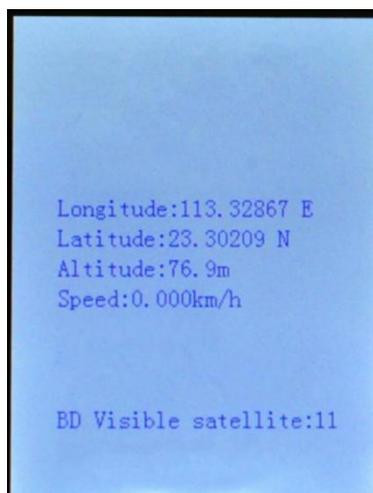


图 5-2 手持终端屏幕显示数据图

```
import L76X
import time
import math

try:
    x=L76X.L76X()
    x.L76X_Set_Baudrate(9600)
    x.L76X_Send_Command(x.SET_NMEA_BAUDRATE_115200)
    time.sleep(2)
    x.L76X_Set_Baudrate(115200)

    x.L76X_Send_Command(x.SET_POS_FIX_400MS);

    #Set output message
    x.L76X_Send_Command(x.SET_NMEA_OUTPUT);

    x.L76X_Exit_BackupMode();
    while(1):
        x.L76X_Gat_GNRM()
        if(x.Status == 1):
            print 'Already positioned'
        else:
            print 'No positioning'
        print 'Time %d:%x.Time_H,
        print '%d:%x.Time_M,
        print '%d'%x.Time_S

        print 'Lon = %f'%x.Lon,
        print ' Lat = %f'%x.Lat
        x.L76X_Baidu_Coordinates(x.Lat, x.Lon)
        print 'Baidu coordinate %f'%x.Lat_Baidu,
        print ',%f'%x.Lon_Baidu
except:
    #GPIO.cleanup()
    print "\nProgram end"
    exit()
```

图 5-3 实时定位的部分代码实例

## (2) 位置坐标与电子地图结合

用户界面采用坐标与电子地图相结合的方式（如图 5-4），实时显示浮标位置。装置通过北斗定位获得经纬度，一一映射至电子地图，有效提高定位精度。

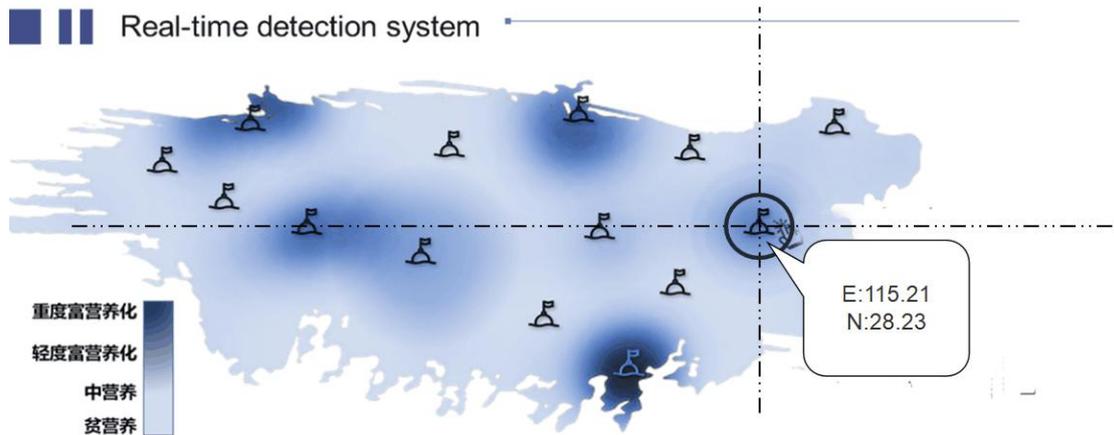


图 5-4 位置坐标和电子地图结合示意图

## 5.2 实时监测与预警功能

### 5.2.1 物联网架构设计

为了实现软硬件系统各模块间的交互，并考略系统的兼容性、移植性、可拓展性，按照物联网架构的层次结构，感知层、网络层、应用层三大层次选用的程序设计语言如图 5-5 所示。

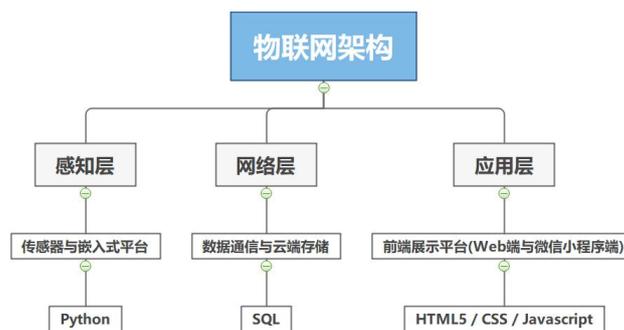


图 5-5 设计语言图

### 5.2.2 硬件设计

硬件系统主要以控制主板树莓派为核心，我们把各项功能模块化分类，以保证本地硬件能够稳定高效的运行，利用尽可能简单的设备最高效率的实现产品功能，该硬件系统以浮标为节点，主要包括各类传感器模块、嵌入式电源模块和通信模块、警示模块、定位模块、显示模块等，其硬件部分具体结构如图 5-6 所示。

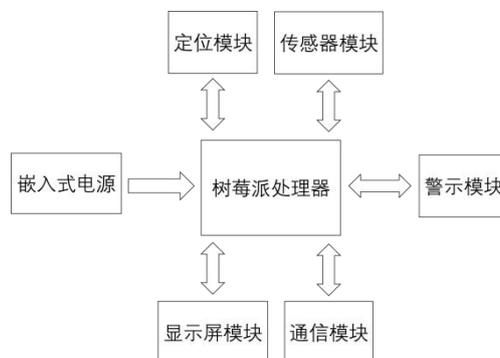


图 5-6 硬件结构图

#### (1) 浮标框架结构

浮标材料采用生物安全材料，沉没可降解，其框架结构图如图 5-7 所示。包括浮标本体（3），其顶部设有显示模块（1）；中部设有防水密封盒（2），其内设有中央处理单元、电源、数据采集模块、无线通信模块和 GPS 定位模块；底部与水域相通，设有带过滤网的进水口（4），若干个传感器接口位于环形筛网（5）内侧，筛网能够防止水中杂物如石块、水草等对传感器造成影响，延长传感器工作寿命；外侧设有警示灯模块（6），用于夜间照明与信息交互。

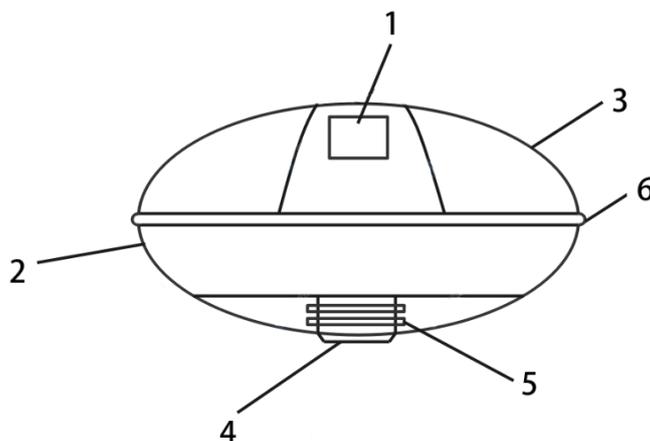


图 5-7 浮标框架结构剖视图

## (2) 控制主板

Raspberry Pi 作为一款基于 ARM 处理器的控制主板，通常被叫做“树莓派”，以 SD 卡作为内存硬盘，为广大开发者提供了一个具有丰富功能且较为廉价的基于 Linux 系统的硬件平台。其搭载 ARM11 处理器，以 SD 卡作为内存硬盘，板载 WiFi 模块、17 个 GPIO，通过 GPIO 引脚与硬件通信。

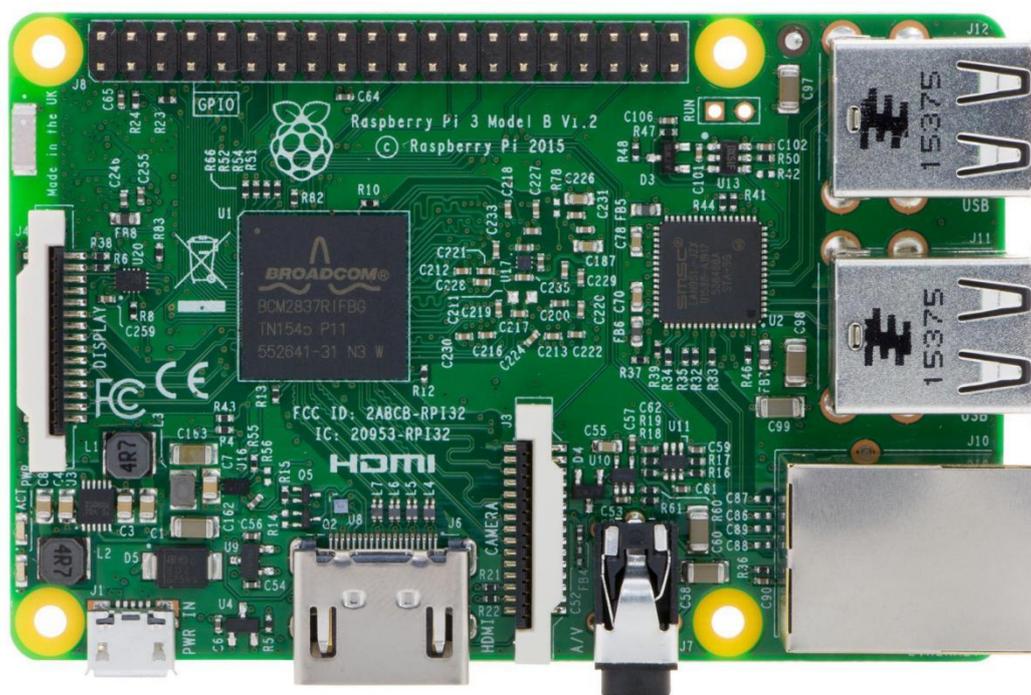


图 5-8 控制主板图

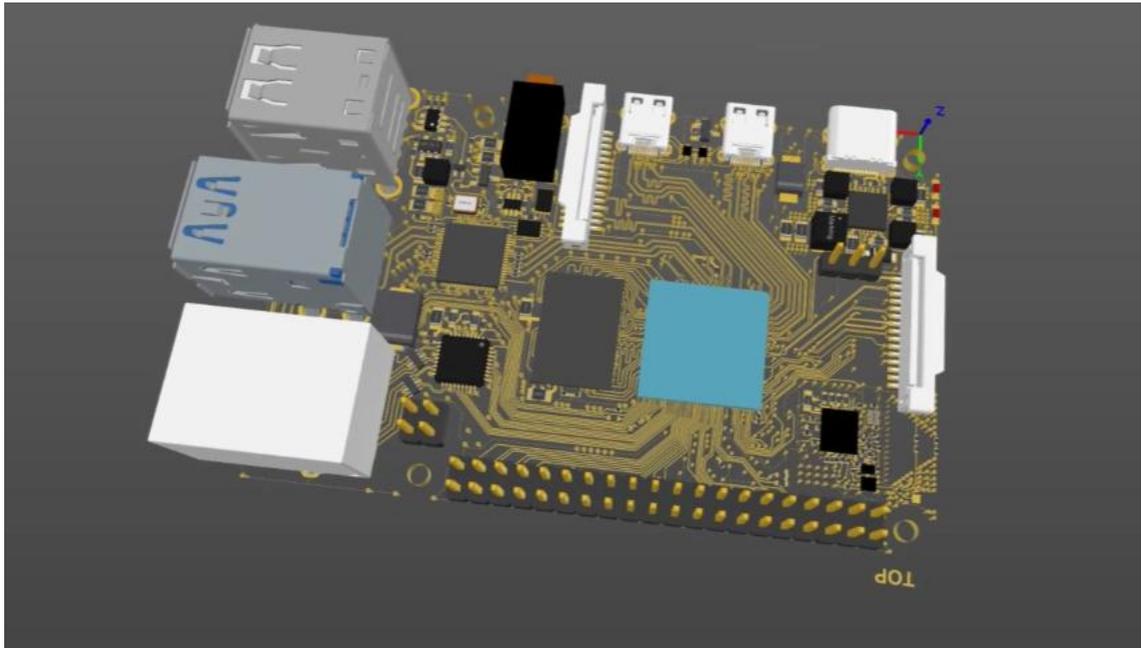


图 5-9 主控板 3D 渲染

硬件系统主要以控制主板树莓派为核心，我们把各项功能模块化分类，以保证本地硬件能够稳定高效的运行，利用尽可能简单的设备最高效化的实现产品功能，模块间的连接情况如图 5-10 所示。

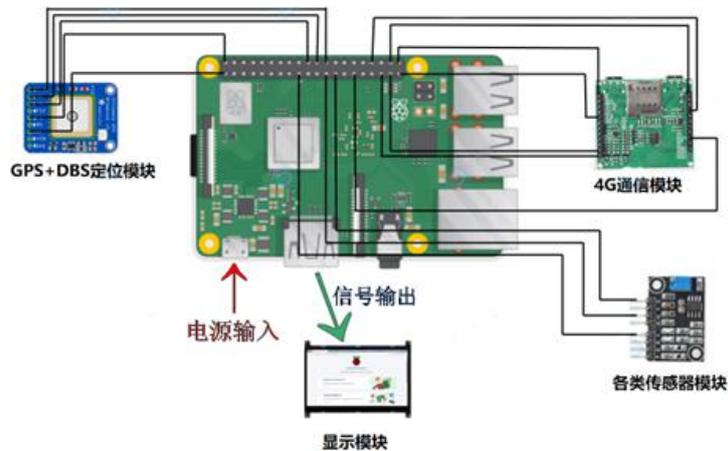


图 5-10 树莓派与各模块的连接情况

### 5.2.3 软件设计

#### 1. 实时监测功能

项目以 RPI 微型处理系统系统为核心，连接控制本地各类传感器（包含溶解氧传感器、浊度传感器、水度传感器、氨氮传感器、ORP、COD 传感器等模块）进行水质信息的实时捕获，其中水温监测的代码部分如图 5-11 所示

```

#!/usr/bin/python
import Adafruit_DHT
import json
import copy
from w1thermsensor import W1ThermSensor

sensor1 = Adafruit_DHT.DHT11
humidity_dht11, temperature_dht11 = Adafruit_DHT.read_retry(sensor1, 26)

sensor2 = Adafruit_DHT.DHT22
humidity_dht22, temperature_dht22 = Adafruit_DHT.read_retry(sensor2, 13)

sensor = W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "0516a718e1ff")
temperature_ds18b20 = sensor.get_temperature()

env = []
if humidity_dht11 is not None and temperature_dht11 is not None:
    data = {"metric": "humidity", "tag": "module=dht11", "value": humidity_dht11}
    env.append(copy.copy(data))
    data = {"metric": "temperature", "tag": "module=dht11", "value": temperature_dht11}
    env.append(copy.copy(data))
if humidity_dht22 is not None and temperature_dht22 is not None:
    data = {"metric": "humidity", "tag": "module=dht22", "value": humidity_dht22}
    env.append(copy.copy(data))
    data = {"metric": "temperature", "tag": "module=dht22", "value": temperature_dht22}
    env.append(copy.copy(data))
if temperature_ds18b20 is not None:
    data = {"metric": "temperature", "tag": "module=ds18b20", "value": temperature_ds18b20}
    env.append(copy.copy(data))
if len(env) > 0:
    with open("/opt/falcon-scripts/env.json", 'w') as f:
        f.write(json.dumps(env))

```

图 5-11 代码示例

## 2. 预警功能

### (1) 预测方法选择

**藻类初级生产力模型：**该模型可有效反映藻类初级水体富营养状况，除温度、光照强度和营养盐浓度等外部的环境条件与初级生产力有关外，光合作用速率也受藻类细胞内环境影响。模型主要考虑氮、磷、温度和光照强度 4 种环境因子，利用 Michaelis-Menten 方程建立藻类生长速率与这 4 种环境因子的动态模型。

$$v_0 = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]}$$

该方程是通过假设存在一个稳态反应的条件推导出来的，其中  $K_m$  值为米氏常数， $V_{\max}$  是酶被底物饱和时的反应速度， $[S]$  是底物浓度。

**时间序列法：**选择较常用的移动平均（MA）预测法，预测原理是，根据时间序列资料逐渐推移，依次计算包含一定项数的时序平均数，以反映长期趋势。具体公式为：

$$X_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

其中：

$X_t$ ---时间序列；

$q$ ---模型阶数；

$t$ ---时期的平均数；

$\varepsilon$ ---时期的预测误差；

$\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、...、 $\theta_t$ ---模型参数

MA 法可以作为一种数据平滑的方式，在一定程度上能消除周期变动和不规则变动的的影响，描述时间序列的变化趋势，且 MA 法适应性强，能自动辨别数据的变化并进行自行修正。MA 法构建模型的关键之处在于模型阶数的选择，需要考虑到时间序列变化的线性、非线性变化趋势及周期的长短和周期内数据的个数。结合藻类初级生产力模型与时间序列算法（MA 算法）生成 AI 模型。通过初级生产力模型生成水质评估参数后，借助 MA 算法提高预测准确性。

### (2) 评估参数实例参考

明湖水质指标月采样，对明湖 pH、温度（Tw）、叶绿素（Ch-a）、总氮（TN）、总磷（TP）、等主要水质因子月均值进行了分析，结果如表 5-12 所示

指标		X1	X2	X3	X4
Tw/°C	平均值	26.2	25.1	24.2	28.3
	范围	17-35	17-35	17-35	17-35
TP/ (mg/L)	平均值	0.124	0.144	0.137	0.162
	范围	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
TN/ (mg/L)	平均值	2.44	2.52	2.70	2.84
	范围	1.8-3.0	1.8-3.0	1.8-3.0	1.8-3.0
PH	平均值	8.25	7.98	8.30	7.87
	范围	7.8-9.9	7.8-9.9	7.8-9.9	7.8-9.9
Chl-a (ug/L)	平均值	85.4	82.7	86.5	92.5
	范围	68-100	65-112	71-110	73-114

图 5-12 评估参数实例参考

### (3) 平台选择

采用华为云网络的人工智能引擎技术平台（iMaster NAIE），其工作流程主要如下：首先在上传数据集之前先对数据集进行标注，然后将标注好的数据压缩包上传到平台上，再创建任务，选择华为自研 AI 机器算法框架 MindSpore，因为该算法产生的模型效果稳定，并且预测时间较短，适用于实际应用的情况，且准确率会比一般算法要高。

为进一步提高系统的预报能力，模型既学习历史事件样本，又获取最新参量信息——模型将充分利用近年的数据开展模型训练，训练完成后进行模型部署，遵循技术文档将 SDK 部署在树莓派上正式应用，并使用近期的数据实现短期预测。模型的部署流程如图 5-13 所示。

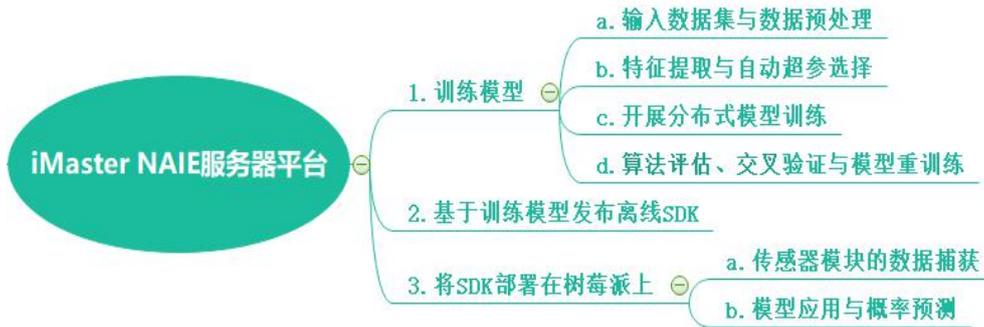


图 5-13 模型部署流程图

#### (4) 模型优化方向

iMaster NAIE 的模型训练优化措施有深度优化，分布式训练加速，自动超参选择，算法评估、交叉验证等技术，既提高模型训练的准确性，又相比于以前的模型训练方式缩短训练的时间，其具体优化方向图 5-14 所示。

#### 模型优化方向

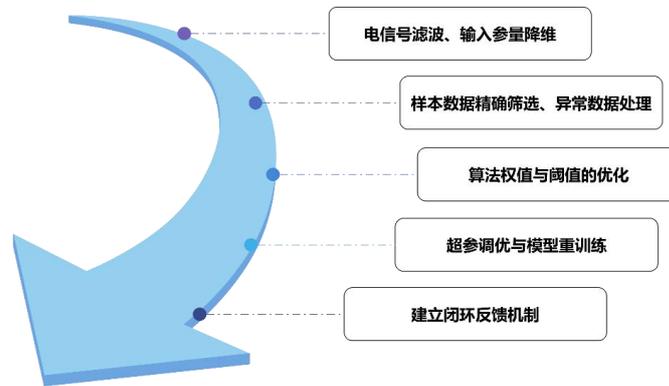


图 5-14 算法模型优化方向

#### (5) 前端架构与界面

web 客户端及服务器程序主要功能是实时显示水域营养化程度监测情况，水华预警等信息，管理登陆界面如图 5-15 所示，web 客户端界面如图 5-12 所示。



图 5-15 前端管理界面

系统的关键界面采用 C/S 构架实施数据的发布和数据用户界面的显示及交互，Web 前端采用 ArcGIS Map 实现热力交互界面，作为监控中心，如图 5-16 所示。



图 5-16 前端交互界面示意图

## 总结

浮标式水体富营养化监测预警系统，本作品打破了人工监测技术重重限制，在水域实时监测、灾害准确定位、灾害预警模型上做出突破。在技术上，本作品做出了许多重要突破，通过北斗导航实现浮标定位，结合传感器监测水质数据实时上传，并能够结合人工智能算法利用检测到的数据对水体富营养化程度与发展趋势进行预测，最终将预测结果在前端呈现，用户通过网站即可了解到每个浮标投放点的水质数据、水体营养化程度以及营养化程度预计发展趋势，以采取措施对水体富营养化进行预防。但本项目仍有技术问题待突破，如当遭遇大风天气时如何使浮标依旧工作在指定位置；经历冰雹、酸雨天气时，如何保护浮标不受损害。

---

## 参考文献

- [1] 曾勇,杨志峰,刘静玲,城市湖泊水华预警模型研究——以北京“六海”为例 J.水科学进展,2007,18(1):79--84.
- [2] 李天深,蓝文陆,卢印思,谢鑫.近岸海域自动监测浮标在赤潮预警中的应用及其缺陷[J] 海洋预报. 2015,32(01). 70-78.
- [3] Accuracy of data buoys for measurement of cyanobacteria, chlorophyll, and turbidity in a large lake (Lake Erie, North America): implications for estimation of cyanobacterial bloom parameters from water quality sonde measurements. Author: Chaffin Justin D; Kane Douglas D; Stanislawczyk Keara; Parker Eric M,2018:25175 – 25189
- [4] Monitoring and Assessment on the Eutrophication in Taihu Lake Using RemoteSense Methodology. Conference name: progress in Environmental Science and technology. Meeting time: January 1, 2007. Venue: Beijing, China.
- [6] 赵卫星.超声波传感器及其应用[J].科技风,2019(23):8.
- [7] 李天深,蓝文陆.基于近岸海域自动监测浮标的水华发生过程分析[J]. 海洋通报. 2016,35(02):201-208
- [8] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 湖泊富营养化过程监测与水华灾害预警技术研究 与系统集成 J. 中国科学院院刊,2012,27(5):620--621.
- [9] MuTrm N,LEE J H W.Genetic programming for analysis and real-time prediction of coastalalgal blooms[J].Ecological modelling,2005,1 89(3-4):363--376.
- [10] 基于 BP 神经网络的海河干流叶绿素浓度短时预测研究[J] 赵文喜,周滨,刘红磊,李慧,蒋定国,季民. 水利水电技术. 2017,48(11):134-140

---

## 新冠疫情下基于“北斗导航”的定点医院智能推荐系统

作者：马万钧、蒋定位、李梦杰、刘遥

指导教师：陈敏、张华

学校：湖南信息学院

---

**【摘要】** 2020年新冠疫情来势汹汹。随着患病人数增加，如何科学有效地排查出潜在患者、疑似对象去哪所医院就诊最为合适、以及如何确保就诊路径最为安全且快速等问题显急需待解决。针对以上问题，本作品重点探讨“北斗+”技术应用于小区级地域新冠疫情防控的新模式和应用方法，设计并实现一个适用于当前新冠疫情特定需求的定点医院智能推荐系统，目的在于分析用户患病概率之后，为疑似对象智能推荐出最合适的定点医院并且规划出最安全快捷的路径。本作品主要工作如下：（1）结合北斗行程数据、用户接触史等信息，完成用户患病概率的定量计算。（2）针对患病概率超过阈值的疑似用户，采用“基于北斗+C5.0算法的混合双态医疗模型推荐算法”，结合北斗信息，完成最优定点医院的智能推荐。（3）进一步，采用基于“北斗+A\*算法的改进路径规划算法”，完成智能路径规划，确保就医路线最安全、快速到达。（4）在用户就医途中，本作品将结合北斗特有的短报文功能对就医对象进行实时调度与监控，从而保证顺利就医。（5）设计并构建一个基于“北斗导航”的定点医院智能推荐系统，为疫情防控人员提供决策依据。本作品立足于小区级地域新冠疫情的科学防控，部分功能也可适用于疫情监控部门、医疗部门等特殊用户群体，通过实现及时监测、及时排查、及时控制，进而实现早预防、早发现、早治疗。本作品除应用于当前新冠疫情的防控工作外，对其它突发性传染病同样具有参考价值。

**【关键词】** 疫情，北斗，定点医院推荐，A\*算法，C4.5算法，短报文

**【Abstract】** The new crown epidemic in 2020 is coming fiercely. With the increase in the number of patients, how to scientifically and effectively sort out potential patients, which hospital is the most suitable for suspected subjects, and how to ensure the safest and quickest path to medical treatment, etc., are urgently needed to be solved. In response to the above problems, this work focuses on the application of the "Beidou+" technology to the new model and application method of the community-level regional new crown epidemic prevention and control, and designs and implements an intelligent recommendation system for designated hospitals suitable for the specific needs of the current new crown epidemic. The purpose is to analyze After the user has the probability of illness, the most suitable designated hospital is intelligently recommended for the suspected object and the safest and quickest path is planned. The main work of this work is as follows: (1) Combining Beidou travel data, user contact history and other information, complete the quantitative calculation of the user's probability of illness. (2) For suspected users whose disease probability exceeds the threshold, adopt the "Beidou+C5.0 algorithm-based hybrid dual-state medical model recommendation algorithm", combined with Beidou information, to complete the intelligent recommendation of the optimal designated hospital. (3) Further, adopt the "Beidou+A\* algorithm-based improved path planning algorithm" to complete intelligent path planning to ensure the safest and

---

fastest arrival of the medical route. (4)During the user's medical treatment, this work will combine Beidou's unique short message function to perform real-time scheduling and monitoring of medical subjects to ensure smooth medical treatment. (5)Design and build an intelligent recommendation system for designated hospitals based on "Beidou Navigation" to provide decision-making basis for epidemic prevention and control personnel. This work is based on the scientific prevention and control of the new crown epidemic at the community level. Some functions can also be applied to special user groups such as epidemic monitoring departments and medical departments. By realizing timely monitoring, timely investigation, and timely control, early prevention, early detection, and Early treatment. In addition to being used in the current prevention and control of the new crown epidemic, this work also has reference value for other sudden infectious diseases.

**【Key words】** Epidemic, Beidou, recommended by designated hospitals, A\* algorithm, C4.5 algorithm, short message

---

## 1 国内外发展现状

### 1.1 北斗技术的研究现状

2020年,北斗第三号组网正式宣布并完成。北斗系统的五个特色:第一,北斗使用的工作频率拥有三种类型,而GPS只有二频。三频在电层抗干扰,定位高精度更具优势。第二,有源定位与非源定位,源定位指通过卫星通信获取自身所要的信息,当测量质量差时,无源定位则为非需求。孙家栋说过:“两种类型的体制联盟,是北斗的最大特色,中国北斗的优势之处”。第三,简短的报告系统。是北斗独有的技术,可通信沟通。第四,建设与开放速度相较于其他国家更快。第五,有3种类型的轨道,目前其他国外卫星都位于距离地面2千万米左右中央轨道,而北斗星有三种类型的轨道:27颗人造卫星在中圆轨道的距离地表2.15亿轨道处,并且具有55度的倾角。赤道上的5颗卫星位于3.58亿米的地球同步轨道处。它在地球上高度为3.58亿米处拥有三颗卫星,大约55度。

### 1.2 患病概率计算相关研究

#### 1.2.1 患病概率计算国内现状

在国内,决策树算法主要以算法的改进方面为主要的发展目标。后由于数据挖掘的崛起,新的理念---分类算法方面开始新生萌芽。如在ID3算法中,洪嘉荣教授等一行人在20世纪90年代中期,为指导学习PID算法,发明了一种以概率为依据的决策树。通过分析决策树指导学习的优化原理,我们将以学习优化为例来分析树的扩展。在此过程中,通过PID获得的决策树更好,可以使用属性聚类的方法进行分支和合并。在树大小和分类准确性方面强于ID3。

以刘小虎博士为代表的研究人员在选择特征属性方面,为了实现属性方面产生的信息增益,在20世纪90年代末提出选择新的属性,引入数中两个重要级别的数节点,并跟随属性的信息增益继续延伸。后来肖勇教授与陈一云教授深入对决策树进行研究,发现遗传算法可以在构建机制上提升决策树。此外,为了证实遗传算法在决策数的应用,吴飞教授和黄体云教授在1999年,在决策树的研究中,将其升级为二叉决策树,通过融入趋势预测模型,发现其效果良好。

---

### 1.2.2 患病概率计算国外现状

在国外，常见的决策树算法有很多，最让人耳熟的是 J.R.QUINLAN 的 ID3 算法，目前随着不断深入的研究与发展，现已经以此为基础发展为较为流行的 C4.5 算法。在处理非数字方面，早先的 CLS 算法与 CART 算法及其最优影响的 ID3 算法都有着良好的处理效果，Quinlan 是 ID3 算法的提出者，此外随着不断的发展。现已经发展为 C4.5 算法。后来出现的 SLIQ 算法、SPRINT 算法、PUBLIC 算法实现了在大型数据集的应用。随着决策树的发展，软决策树的出现，由于其自身重构与磨合构成的特殊结构，极大的提升了决策树的正确率方面能力。

### 1.2.3 研究现状评述

决策树算法（例如 C4.5 算法）被广泛使用，另外，有许多成熟的系统被广泛推广，因此在语音、客户关系、专家系统等方面都能看见它的影子。本作品以北斗数据作为支撑，对 C4.5 算法进行改进，并将其应用于疫情下用户患病概率的计算，这在国内外是鲜有先例的。使用改进的 C4.5 算法进行患病概率计算具有一定的创新性和实用推广价值。

## 1.3 智能推荐算法

### 1.3.1 智能推荐算法国内现状

在国内，随着大数据的兴起，对于推荐算法研究的学者发现了新的大陆，为了实现推荐算法与大数据的融合，许多学者从不同的角度入手，去发现二者的切合点，如孙远帅从多个角度分析了在大数据中如何在相似度的角度上、在矩阵并行化的角度上、在层次的角度上去寻找推荐算法的影子。为了进一步发展推荐算法，像孙天昊等人将基于聚类协同过滤的这种推荐算法，引入到 Hadoop 的分布式计算中，推动了推荐算法的发展。

从 2016 年至今，让许多人困惑的是大数据与推荐算法怎么样融合才能有效的发挥其价值。基于此算法的相关研究，在 21 世纪 10 年代，许多研究人员开始从推荐算法入手，并涌现了一批如商品推荐、个性化等妇孺皆知的网络语言。由此在许多方面，大数据留下其自己的影子，其在算法与数据方面的实用性逐渐体现出来，像商品、图书等多种货物的推荐，使得大数据与个人化紧密相连，不断发展。

### 1.3.2 智能推荐算法国外现状

在国外，大数据最早追溯到 Hadoop 算法，2011 年 Pessemier 的研究促进了 Mapreduce 框架和 Hadoop 系统的发展，从而产生了开始的推荐算法，后来随着推荐算法与大数据的想融合，Joldzic 等人也开始尝试从大型数据集方面将推荐模型与 Hadoop 分布式集群二者合为一体。

从 2014 年以来，推荐算法的发展不仅仅局限于算法改进，其应用范围也开始逐渐增大。自 2015 年以来，我们都可以在教育领域、医疗卫生领域、用户个性领域都能看到推荐算法与大数据相互融合所发挥的作用。

### 1.3.3 研究现状评述

推荐算法最早可追溯到 1992 年，根据上述调查，此技术大多应用在互联网提供各种服务，很少有结合北斗进行研究的应用作品。本作品以北斗获取的数据为支持、以安全度为最高优先级，并且结合混合双态医疗模型进行智能算法推荐，多次筛选以提供最可靠的推荐结果。

---

## 1.4 路径规划技术

### 1.4.1 路径规划技术国内现状

路径规划研究始于 1960 年代，当时被用于机器人避障运动控制应用。通过对路线规划技术的深入研究和发 展，路线规划算法已逐渐扩展到其他应用领域，例如机器人旅行计划，智能交通系统，通信网络布局，无人驾驶自动驾驶飞机和其他人工智能领域。

在汽车导航的发展历程中，A.P.Eiger、P.Mirchandani、H.Soroush 等人发现目前在静态网络中能具有强适用性与高效能力的算法为 Dijkstra 算法。J.Pearl 等人们现有的路网路线问题中引入路径规划 A\*算法方法，即所谓的经典的计算方法，有效的路线直径指数是一条路线网络区域的有效联通，但实际上改变生活状态会影响其动态变化，从而造成路径规划的结果不同，这是外部因素对于路径规划的影响。因此，Wellman、Frod 和 Larson 等人尝试从动态路径规划入手开始研究。通过引入诸如道路环境等外部因素的随机变化，我们提出了一种动态车辆导航算法，该算法可以改进算法并有效地修改道路。

但是，由于大规模计算中精确算法的许多缺点，研究人员已进行了近似优化，计算大规模调度路线问题并使算法研究更适合实际应用的需求。用于计算的发现算法。您从需要精确的最佳解决方案的约束中解脱出来。启发式算法的结果在精确度上可能比精确算法要粗略，但是在计算效率方面上却有着明显的优势。

### 1.4.2 路径规划技术国外现状

自 1990 年以来，人工智能在组合优化方面的发展已经逐渐渗透到不同的领域当中。为解决在路线方面车辆分配的问题，人们发现启发式算法----语言算法，能从人工智能的角度有效的针对该分配问题给予合理的结果。

此外，针对车辆导航在交通网络中的应用，许多学者也开始有不同的想法提出，如严克非教授从导航过程入手，将其分为多个阶段，短期交通网络信息被认为是静态且不可变的，而交通网络车辆的导航问题则通过动态变化因子来解决。为了进一步对其问题进行研究，严克非教授尝试融入 A\*算法，以 GIS 系统为基础，将二者进行融合，从而实现在路径规挂不确定的环境中获取到最短路径的结果。后来我们发现，路径规划还可以从神经网络方面入手，通过引入其模型预算法，从而创新除新的基于流体的神经网络实现在路径规划方面的问题获得解决。

### 1.4.3 研究现状综述

根据上述调查，一般传统的 A\*算法主要是通过估价函数来从最短路径方面进行搜索，从而来获得对应的路径，本研究通过基于对 A\*算法的改进，在基于最短路径考虑的基础上，通过增加安全度优先，搜索效率提高再配合北斗导航的高精度定位与导航，从而为用户提供更加安全，高效，短距离优先的路径，让用户在当前疫情环境下能够更方便的获取路径更快更安全的到达目的医院。此外 A\*改进算法通过增加父节点到目标节点的评估因素加入到估价函数当中，不仅使探索结点减少，还能让算法效率大大提高。

## 2 研究目标

2020 年新冠疫情来势汹汹，截至当前患者突破千万人，疫情形势十分严峻。习近平主席在北京调查预防和管理新冠肺炎的科学研究时说：“与病毒想对抗的武器中，科学是最重要的，因为人类的科学在不断的发展与创新。正

---

因有它，我们才能与疾病相抗衡。”同时在 2020 年，北斗三号组网正式宣布构建完毕。北斗的全面建设完毕意味着此项“科学发展和技术创新”将在本次疫情大放异彩。当前全球已有近千万病例，伴随着新冠肺炎病毒的不断扩散，如何快速科学地筛选出潜在患者？疑似对象去哪所医院就诊最为合适？如何确保就诊路径最为安全且快速？上述问题已成为防控疫情狙击战中急需解决的难题，同时也是最艰难的一步。

基于以上背景，本作品重点探讨“北斗+”技术应用于小区级地域新冠疫情防控的新模式和应用方法。通过研究患病概率计算、定点医院推荐、智能路径规划、医疗数据挖掘模型构建等关键技术，设计并实现一个面向当前新冠疫情特定需求的定点医院智能推荐系统，在判定用户患病概率之后，为疑似患者智能推荐最合适的定点医院并规划最安全、快速的出行路径。

具体目标如下：

(1) 结合北斗行程数据、用户接触史等信息，完成用户患病概率的定量计算，可更为直观、准确地表达患病程度，对进一步的病情诊断和疫情防控提供参考。

(2) 基于静态医疗数据和动态医疗模型，结合北斗信息，完成定点医院推荐，实现对特殊时期的医疗资源进行更为优化合理的分配。

(3) 利用北斗定位数据，引入安全性判据，对传统路径规划算法中的 A\* 算法进行改进，完成智能路径规划，确保就医路径最安全、快速到达。

(4) 基于北斗短报文，实现就医行程的实时调度与监控。

(5) 设计并构建一个基于“北斗导航”的定点医院智能推荐系统，为疫情防控人员提供决策依据。

本作品立足于小区级地域新冠疫情的科学防控，通过实现及时监测、及时排查、及时控制，进而实现早预防、早发现、早治疗。本作品除应用于当前新冠疫情的防控工作外，对其它突发性传染病（如禽流感、非典等）同样具有参考价值。

## 3 创新性

### 3.1 基于“北斗+C4.5 算法”的疫情患病概率计算

这项技术基于国家卫生委员会总局于 2020 年 2 月 8 日发布的“具有智能协助和判断逻辑解释的新型冠状病毒性肺炎访谈量表”。（如表 1 所示），以及根据基于北斗的行程记录、基于北斗的感染源接触分析等数据，采用决策树算法（C4.5 算法作为决策树的主流算法之一，常用于医疗判断）进行数据处理来得到患病概率。

表 1 智能辅助新型冠状病毒肺炎问诊量表及判断逻辑说明

患者信息	答案序号
(发热/咽喉痛/咳嗽/鼻塞/流鼻涕/胸闷/气急/呼吸困难/全身酸痛/乏力/腹泻) & (有武汉(湖北)等疫区旅游史或居住史/有接触过来自武汉(湖北)、温州、台州的人员/有接触过疑似或确诊新型冠状病毒感染者/身边有多人出现发热、乏力、咳嗽、咽痛等)	1
(发热/咽喉痛/咳嗽/鼻塞/流鼻涕/胸闷/气急/呼吸困难/全身酸痛/乏力/腹泻) & 没有接触史	2
没有典型症状 & (有武汉(湖北)等疫区旅游史或居住史/有接触过来自武汉(湖北)等疫区人员/有接触过疑似或确诊新型冠状病毒感染者/身边有多人出现发热、乏力、咳嗽、咽痛等)	3
没有典型症状 & 没有接触史	4

说明: “/”代表“或”, “&”代表“且”。

该方法的创新体现在: 在学术上目前还没有人系统的研究过, 并且当前的疫情防控系统以及平台大多只是给出用户定性的判断, 如, 是否感染、安全等较为广泛的评判。本作品研究的用户患病概率计算不仅具有科学依据(基于表 1), 同时具有推广实用性, 可在疫情中快速筛查出潜在患病者, 结合数据进行患病概率量化分析。

### 3.2 基于“北斗+混合双态医疗模型”的定点医院智能推荐算法

本作品提出的“北斗+混合双态医疗模型”的定点医院智能推荐算法, 基于静态医疗数据(如医院位置、医院等级、医疗设备数量等), 采用 C5.0 算法建立了数据挖掘模型, 以解决传统协同过滤推荐算法的冷启动问题。基于此, 结合患者患病概率、医院医护人员、实时交通路况、人口密度稀疏矩阵以及医院实时就诊人数, 建立动态医疗模型。最后结合静态医疗模型以及动态医疗信息的特长, 运用北斗导航系统高精度、稳定性的特点, 向疑似患者精准推荐最优就诊医院。一方面能极大避免因医疗水准不够而导致医疗物质的浪费, 另一方面能极大提高推荐的精准度, 同时有效降低病毒二次传播的风险, 保障健康用户的社交活动, 降低患者寻找医院的代价。

### 3.3 基于“北斗+ A\*算法”的改进路径规划算法

改进后的安全路径规划算法, 主要采用北斗实验室公开的定位数据, 引入安全性判据, 对传统路径规划算法中的 A\*算法进行改进。该算法解决了传统路径规划技术所未能覆盖到安全权重的问题, 能够针对疫情特殊需求, 求解出疫情期间有外出需求特殊群体的最安全路径规划, 此外, 改进后的 A\*算法的搜索方向可以快速结束, 从而显著减少了算法通过的节点数量, 并提高了搜索速度。

### 3.4 基于北斗短报文的就医行程实时调度与监控技术

在疫情背景下, 基于北斗短报文的就医行程实时调度与监控技术还未有人系统的研究。本作品独创性将其融入“行程监控”中, 旨在为用户就医途中提供最安全保障, 确保用户能够通过特定路径规划抵达医院, 若用户偏离路线可及时发信息提醒用户保持安全路段通行。短报文技术的重大优势在于, 信号极差或无服务路段(如山区、隧道)依然能够保持联系对安全性提升极大, 同时还能保持对就医人员的实时定位。

### 3.5 新冠疫情下基于“北斗导航”的定点医院智能推荐 APP 系统的构建

疫情突发而快速, 市面上虽然有针对疫情而研发的居民随身码与小程序, 但没用一款针对与疫情医院推荐的 APP 应用程序。而本作品针对疫情而进行

系统性的研究，对患者和潜在患者进行记录分析。采用多种技术，得出患病概率计算、最安全的路径规划、定点医院推荐等新型技术，为未来的传染性疾病预防提供一条可参考的技术路径。

## 4 主要研究内容及实现思路

### 4.1 系统总体方案

#### 4.1.1 系统硬件组成

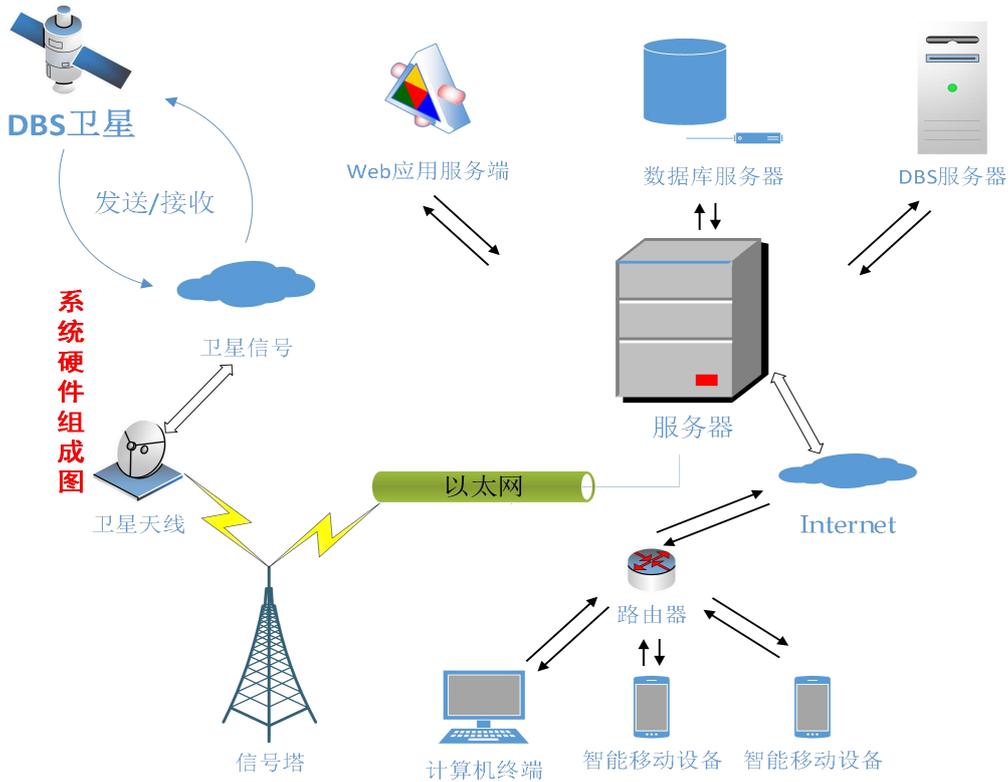


图 1 系统硬件组成图

#### 4.1.2 系统功能组成

本系统主要围绕疫情背景下，对基于北斗导航的定点医院智能推荐系统进行研究，在此基础上衍生了基于北斗的实时定位、居民随申码、C4.5 患病概率计算、定点医院智能推荐、最安全路径规划等后台功能模块，前端移动端界面采用 Echat 图表的形式友好地为用户呈现疫情下的人口热力图、就诊医院信息展示以及就诊路线感染风险分析。系统主要功能如图 2 所示。

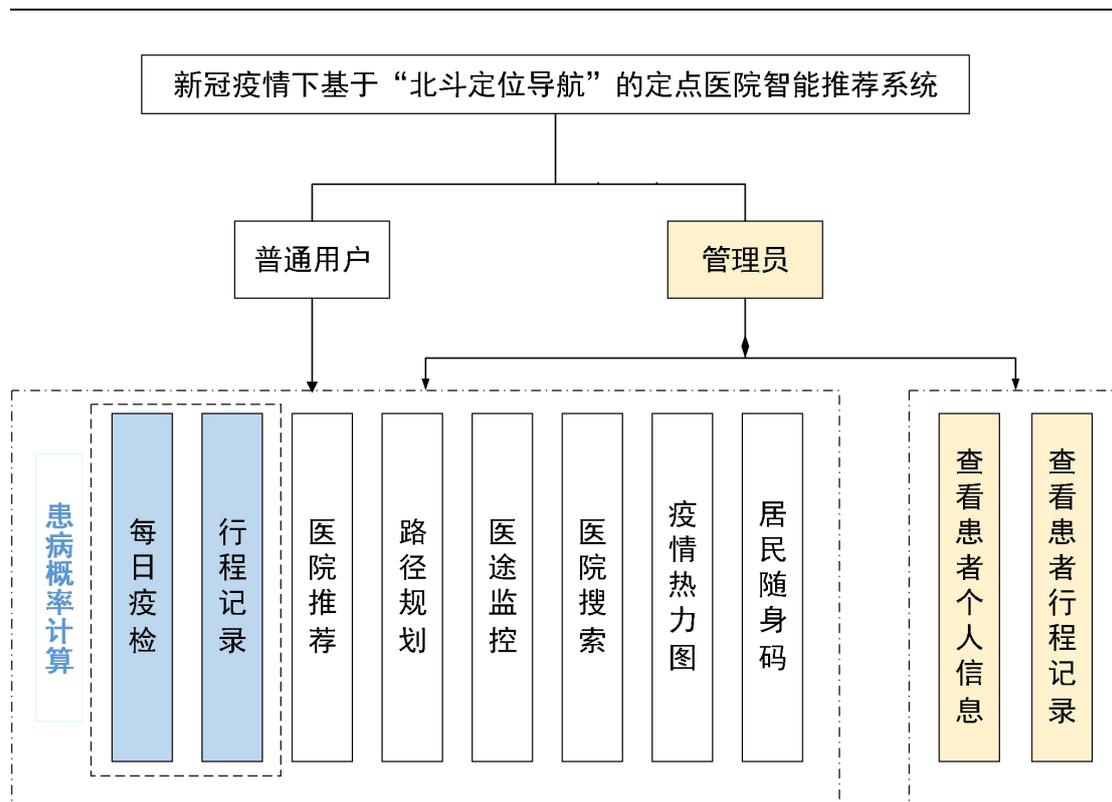


图 2 系统主要功能图

本作品围绕上述技术研究开展系统研究，并根据实际需要区分了普通用户与管理用户，详细功能组成如下：

#### 普通用户端

(1) “每日疫检”初步排查潜在患者。本作品以流性病监测机构初步判断的高风险地区为中心，提倡其周边地区用户使用本系统的“每日疫情监测”功能，填写用户身体状态信息用于初步计算用户的患病概率，便于排查潜在患者。

(2) “行程记录”进一步确认潜在患者。对于初步排查后患病概率高于 20% 的异常用户，本作品将推荐用户打开“行程记录”功能，记录用户近 5 天位置信息，便于进一步确定潜在患者或解除风险。

(3) “医院推荐”确认患病情况。在行程记录期间，针对患病概率属于 20% 至 40% 之间的用户，系统则采用“基于北斗+C5.0 算法的混合双态医疗模型推荐算法”结合医院的静、动态数据分析，推荐最合适就诊医院，继而医学检测用户是否患病。

(4) “路径规划”让就医路线最安全。若用户与所推荐的定点医院存在一定距离，为极大减低二次感染的风险，本系统设计了基于改进“北斗+A\*”的最安全路径规划算法，旨在为用户提供一条最安全路径。

(5) “医途监控”让就医途中最安全。在用户按规划路径就医的过程中，本作品再结合北斗特有的短报文功能对用户就医途中进行实时监控，确保就医顺利。

(6) “医院搜索”获取特色定点医院信息。用户可通过“医院搜索”功能获取其指定医院的诸多信息，如，医院等级、医疗设备、当前床位、距离远近等信息以供用户查看，满足用户个性化需求。

(7) “疫情热力图”疫情患病数据可视化。本作品通过北斗获取用户位置信息，再结合 python 爬虫与大数据分析得出用户位置的疫情数据分析图。

(8) “居民随身码”患病概率结果可视化。本作品根据用户的患病概率与国家提供的智能诊断防疫数据相结合，再通过不同权重计算得出居民的健康随身码。

### 管理员端

管理员端除了上述功能以外额外增加以下功能。

(1) 查看患者个人信息。查询患者个人信息用于进一步筛查可能造成的感染人群。

(2) 患者行程记录查询。查询患者开启“行程记录”之后的行程记录，便于防疫部门进行深度的行程追溯，寻找更多疑似病毒携带者，及时隔离，降低群体感染的风险，保障社会稳定。

综上，本作品分为管理员与用户端，共包含 10 个核心功能。首先根据“每日疫检”获取用户每日身体状态信息，其次，结合患病概率分析算法得出用户患病概率，若患病概率达到 20% 时，将推荐用户进行连续 5 天“行程记录”分析，进一步观察其身体状况；再次，经过“行程记录分析”后，其患病概率依然处于 20% 至 40% 之间时，为避免潜在患者盲目前往定点医院就诊，导致交叉感染，系统将采用“基于北斗+C5.0 算法的混合双态医疗模型推荐算法”，根据潜在患者身体状况推荐不同类型的医院；此时，为保证潜在患者最安全且快速的到达定点医院，将采用改进 A\* 的最安全路径规划算法进行路径规划，避免发生交叉感染；最后，在用户就医途中，为确保医患密切沟通，系统将以北斗短报文的形式进行信息传输，以解决网络限制的问题，保证就医顺利。

### 4.1.3 系统总体处理流程

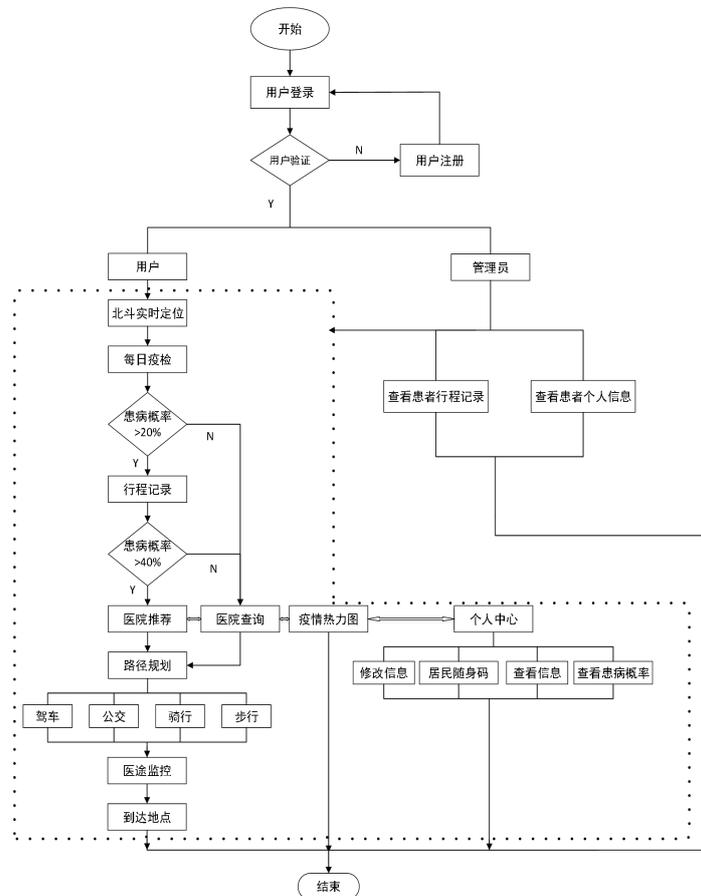


图3 系统总体流程图

## 4.1.4 系统数据库设计

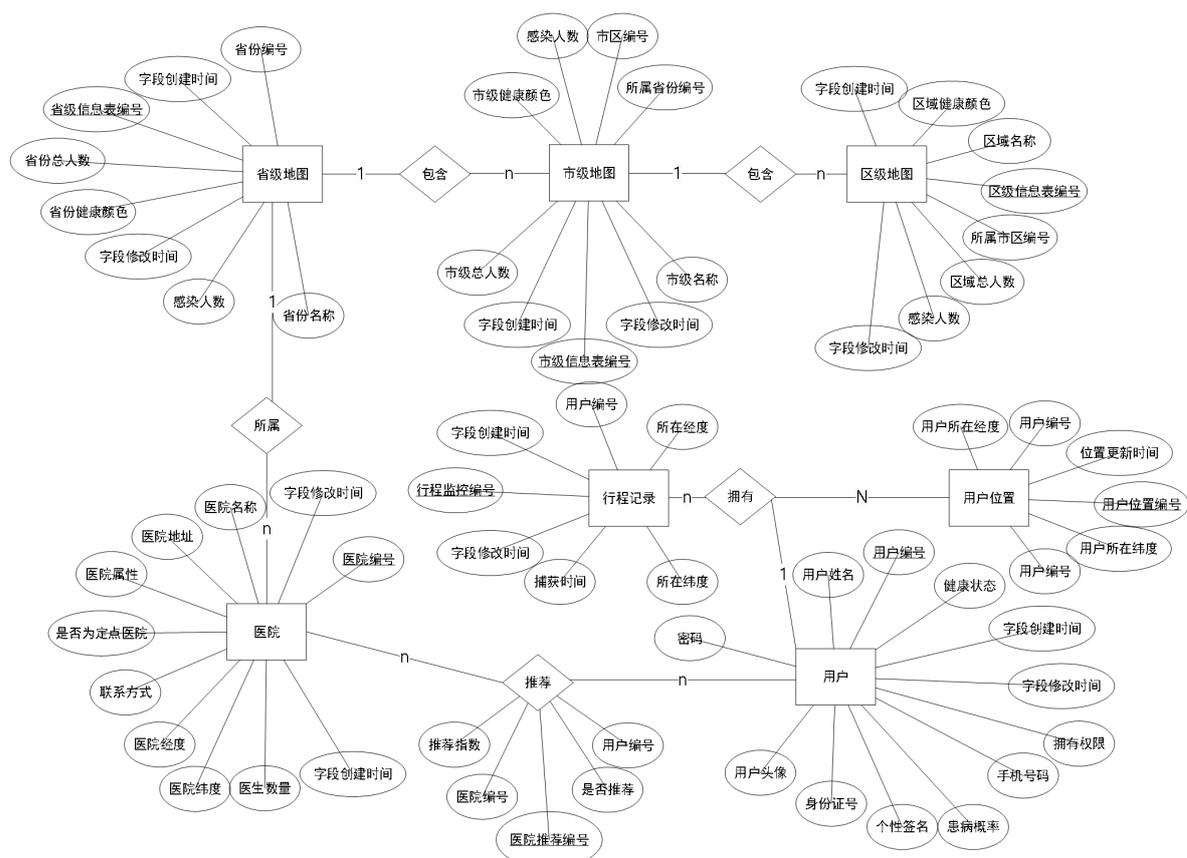


图 4 系统数据库总体 ER 图

## 4.1.5 系统软硬件环境

软件需求

后端开发: Springboot 2.2.6、JDK 1.8

总体设计: RPC 构建分布式

数据缓存: Redis 缓存

团队协作工具: maven 3.6 项目管理工具软件

大数据存储: Hive 海量医疗数据仓库

大数据处理: INTEGRATION-Flume 医疗数据模型清洗工具

Web 开发: LVS 负载均衡、开发环境 MySql 8.20、消息中间件、uniapp

### 3.0 框架

图像设计: Adobe Photoshop CC 2019

硬件需求

支持嵌入式的 ORM 测试板块 (测试用)、linux 的版本 centos74G4 核的服务器五台、window10 操作系统 64 位 16G 计算机若干、安卓 9.0 移动设备若干  
所研究或用到的技术总览图如下图 5:

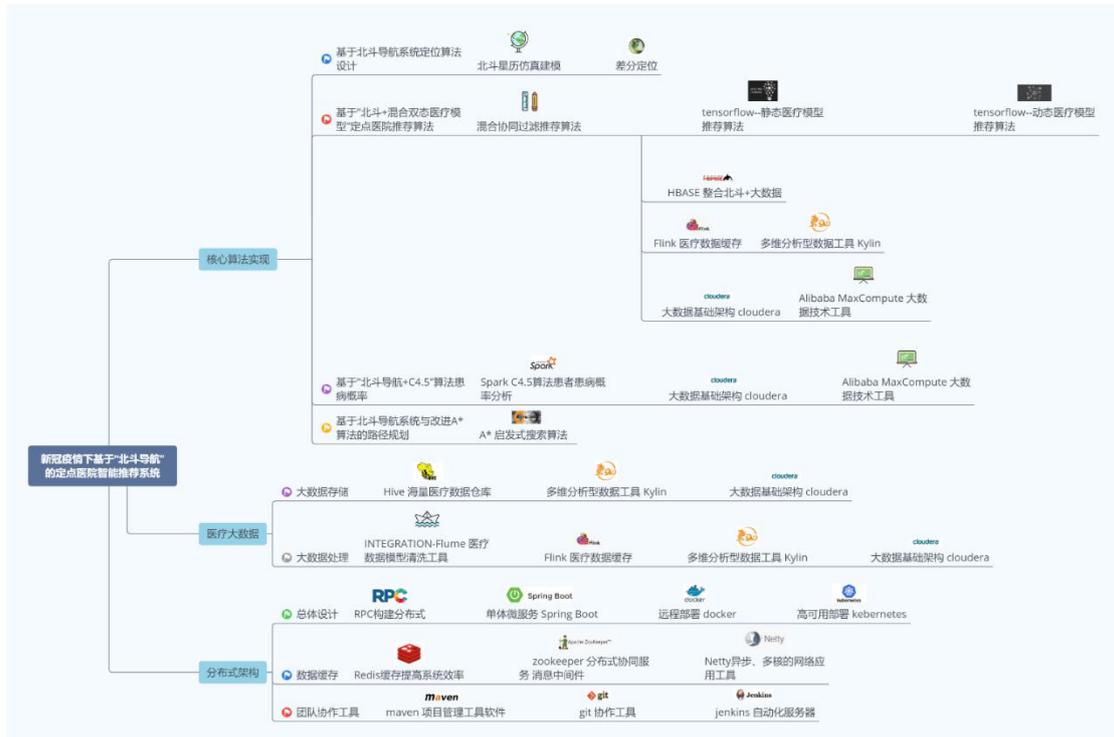


图5 系统技术总览图

## 4.2 关键技术实现途径

### 4.2.1 基于“北斗+C4.5 算法”的患病概率计算

根据用户“每日疫检”身体数据进行初步患病概率计算，筛选潜在患者，并推荐其打开“行程记录”，结合潜在患者的“行程记录”与居民随申码进行深度的患病概率计算。

通过北斗定位获取的用户行程记录在 Hbase 数据库中。根据 Hbase 历史数据库记录的用户 14 天的行程路径与患者或疑似病例的行程路径匹对来进行数据收集。

首先收集行程路径的重合之处数据（其中与患者路径重合增加的患病概率高于疑似病例，若用户的 14 天行程路径与患者的重合度越大，以及与多名患者有路径重合，那么用户患病的概率就会越大），然后再对路径重合之处进行深入分析，如收集用户与患者经过同一地区的时差数据（若用户与患者经过同一地方的时差越小，那么用户患病概率就会越大）。其次收集用户 14 天通过患有疫情地区的数据，如其中疫情地区患者数量的多少以及用户是否到过疫情地区中的人员聚集地方，如超市等地方，来作为计算用户患病概率的数据。同时结合用户的基于北斗的感染源接触分析中获得的数据以及居民随申码来作为第一阶段最终获得数据集合。第一阶段收集的数据用于第二阶段 C4.5 改进算法中用来计算用户患病概率计算的数据源。具体流程见图 6。

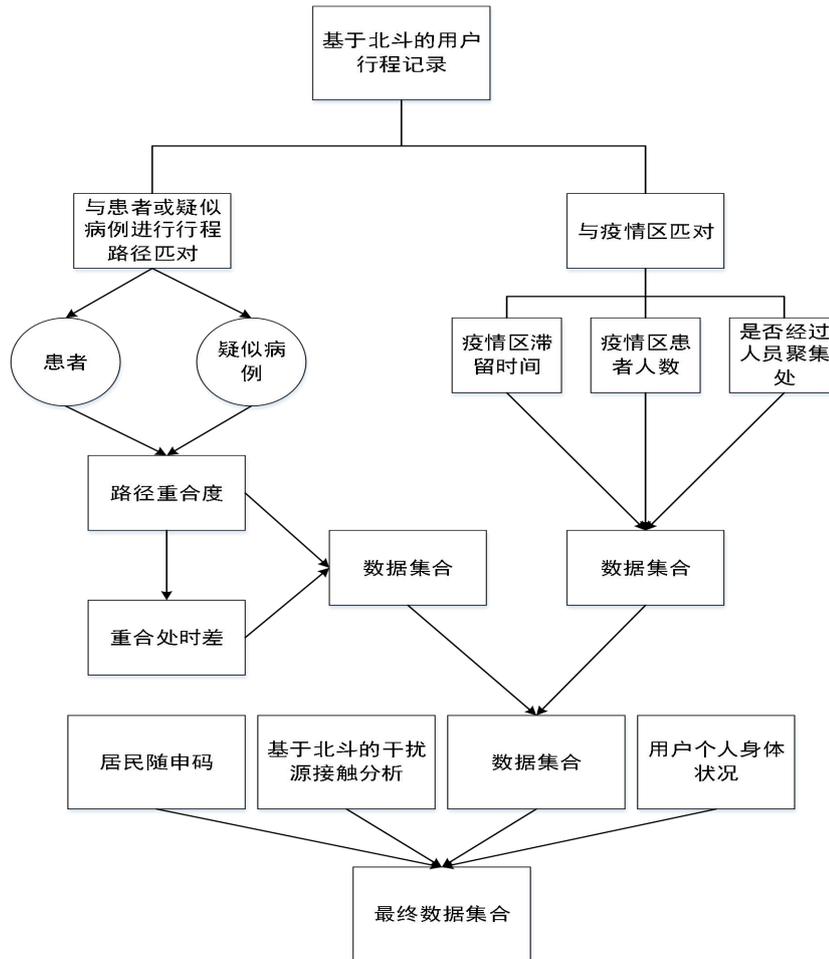


图 6 基于“北斗+C4.5 算法”的患病概率计算流程图

C4.5 决策树算法进行患病概率的预测，首先需要确定与患病相关的属性（相关属性已在第一阶段中挖掘出来）。确定相关属性后，计算当前属性集合中每个属性的信息增益率：

$$\text{Gain\_ratio}(D, a) = \frac{\text{Gain}(D, a)}{\text{IV}(a)} \quad (\text{公式 1})$$

信息获取率是除属性 a 之外信息获取的唯一值，

$$\text{IV}(a) = - \sum_{v=1}^V \frac{|D^v|}{|D|} \log_2 \frac{|D^v|}{|D|} \quad (\text{公式 2})$$

D:当前样本集合 a:属性

$D^v$ : 离散属性 a 有 V 个可能的取值  $\{a_1, a_2, \dots, a_V\}$ ；样本集合中，属性 a 上取值为  $a_v$  的样本集合，记为  $D^v$

改进的 C4.5 算法必须首先使用 Delphi 方法计算权重，然后确定当前属性是离散的还是连续的。对于离散属性，则按照公式：

$$\text{GainRate}'(A) = \frac{\text{Info}'(D) - \text{Info}'_A(D)}{\text{SplitInfo}_A(D)} = \frac{-a_k k \sum_{j=1}^v \sum_{i=1}^m \frac{|C_i| \times (|D_j| - |C_{i,D_j}|)}{|D_j|}}{\sum_{i=1}^v \frac{|D_j| \times (|D| - |D_j|)}{|D|}} \quad (\text{公式 3})$$

获取相应的信息获取率。对于连续属性，请使用边界定理找到该属性的最佳分割阈值。再使用公式：

$$\text{GainRate}'(A) = \frac{\text{Info}'(D) - \text{Info}'_A(D)}{\text{Splitinfo}_A(D)} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{|c_{i,D}| \times (|D| - |c_{i,D}|)}{|D|}}{\sum_{i=1}^v \frac{|D_j| \times (|D| - |D_j|)}{|D|}} \quad (\text{公式 4})$$

获取属性的信息获取率（信息增益率越大代表该数据或影响因素对患病概率的计算影响程度越大，在计算患病概率的因子中占更重要的地位）。由各种属性计算出的信息获取率值将信息获取率最高的属性确定为根节点。重复上述过程以完成决策树的构建。将第一阶段收集到的相关属性和数据代入到构建好的决策树中，最终计算出用户患病概率。

#### 4.2.2 基于“北斗+混合双态医疗模型”的定点医院智能推荐算法

采用基于代价矩阵的 C5.0 优化挖掘算法处理静态医疗数据，构建静态医疗模型。医疗模型致力于描述当前城市真实医疗资源分配与用户自身固有特征，在此基础上产生由静态医疗模型而推荐的定点医院候选集合。具体实现有以下步骤：

##### (1) 离线静态的初步分析推荐

系统通过调用北斗实验室提供的 API 接口，获取用户的地理位置与经纬度。系统以此经纬度为基准点，向范围 0-2000 公里内进行扩散搜索各地医院信息，信息搜集由基于 python 的爬虫算法实现，基本信息包括：医疗人员实力医疗设备配置完整度、医院与你所在经纬度的距离、各医院肺炎就诊成功率、医院 10000 米范围内的人口热力分析图以及人口分布稀疏度矩阵信息、该医院所在地区的患病风险程度等基本静态信息等。将信息结合基于 C5.0 决策树的算法优化，后台系统再自动结合北斗路径规划算法，整理出静态集合。最后基于此模型为用户初步推荐出静态定点医院候选集合。

##### (2) 在线动态的二次过滤推荐

现实的情况往往不是静态的单线程运行，而是复杂多变的动态多线程并行。在基于静态定点医院候选集合的基础上，我们将优化 C5.0 算法，通过引入代价矩阵的方式合理分析各数据元素的权重比列问题，确保决策树分配的准确性，将基于北斗的安全路径设为最高优先级。再通过后台引入用户当前症状表现、计算患病概率、基于北斗实时监控的定点医院人员流动情况、基于北斗的路面车辆分析动态路况数据等，采用基于模型的协同过滤算法整合出动态医院候选集合。

##### (3) 基于患病概率计算+动态医院候选集合推荐定点医院

采用 Skyline 算法对双层动态过滤医院候选集合排序。Skyline 算法是一种多目标分支排序算法，而本推荐模型中主要以基于北斗的最优安全路径为主要目标，即为此目标分配更多权重，结合用户患病概率计算进行定点医院排序，融合双态模型，利用模型特征优势，避免潜在患者造成二次感染的风险。

在涉及的定点医院推荐算法，本系统以静态数据挖掘模型和医院实时动态数据作为元数据，在此基础上进行基于模型的协同过滤推荐算法。基于医疗模型推荐示意图，如图 7 所示。

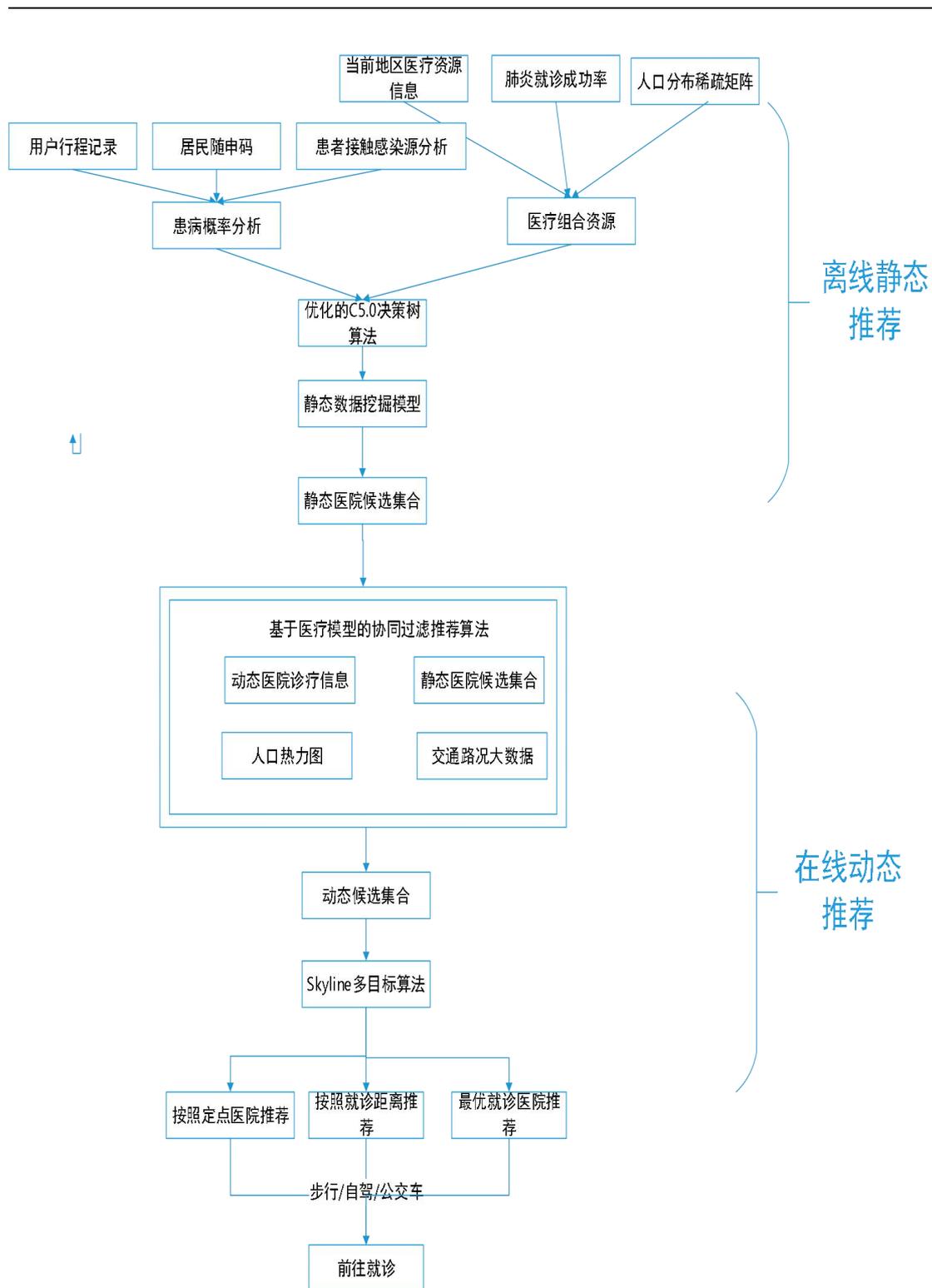


图 7 基于“北斗+混合双态医疗模型”的定点医院智能推荐算法流程图

#### 4.2.3 基于“北斗+A\*算法”的改进路径规划算法

A\*算法作为目前比较流行的启发式搜索算法，搜索最可能的节点首先减少了搜索到的节点数量，并进一步提高了算法的效率。通过在已知的每个点的疫情情况条件下，先通过基于 AHP+Cox 风险模型的安全风险评估对每个节点进行一个节点进行综合的评估，并筛选掉中等一下评分的节点，将其设置为与不可走节点同级，进行一次过滤筛选，以此来减少后续遍历的节点的个数并且保证所留下的节点安全系数度高。其大致流程思路如下：

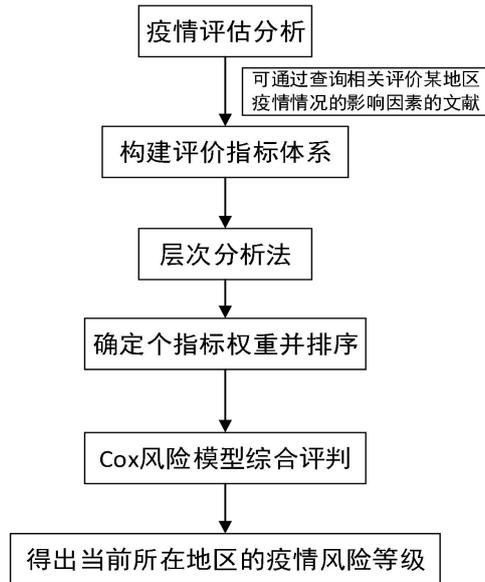


图 8 安全疾病风险评估算法的一般流程

其中，建立层次结构模型与判断矩阵需要在层次分析法中完成，通过和法的方式来对其各因素进行向量归一化，其中的和法公式如下：

$$\bar{W}_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{公式 1})$$

在对向量进行归一化之后，还需要进行一致性测试，并且通过将行和列中的归一化向量求和得出每个因子的权重值，其公式如下：

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i - n}{nW_i}}{n-1} \quad (\text{公式 2})$$

当 CR 的结果 < 0.1 时，表明其矩阵的一致性检验是合格的。

对因素进行权重分析后，通过基于 Cox 风险模型，对其进行风险评估，其 Cox 风险模型的风险评估公式如下：

$$r = \frac{\sigma(t, X_1, X_2, X_3, X_4)}{1 + \sigma(t, X_1, X_2, X_3, X_4)} \quad (\text{公式 3})$$

$$\sigma(t, X_1, X_2, X_3, X_4) = h_0(t) e^{\sum_{i=1}^4 \beta_i X_i} \quad (\text{公式 4})$$

其中  $\beta_i$  为当前因素的权重，t 表示时间， $h_0(t)$  为基准风险率，

$X_1 = \sum_{m=1}^n a_m X_{1m}$ ， $X_{1m}$  是地区 m 流动到本地的人数， $a_m$  是地区 m 的风险因

子,  $X_2$  为当前地区的现有的确诊病例数,  $X_3$  为当前地区现有的疑似病例数,  $X_4 = \frac{\text{该地区人数 (千人)}}{\text{辖区面积 (平方千米)}}$  表示人口密度。

通过将相关数据带入分析计算, 最终得出对应地区的最终风险评估值。

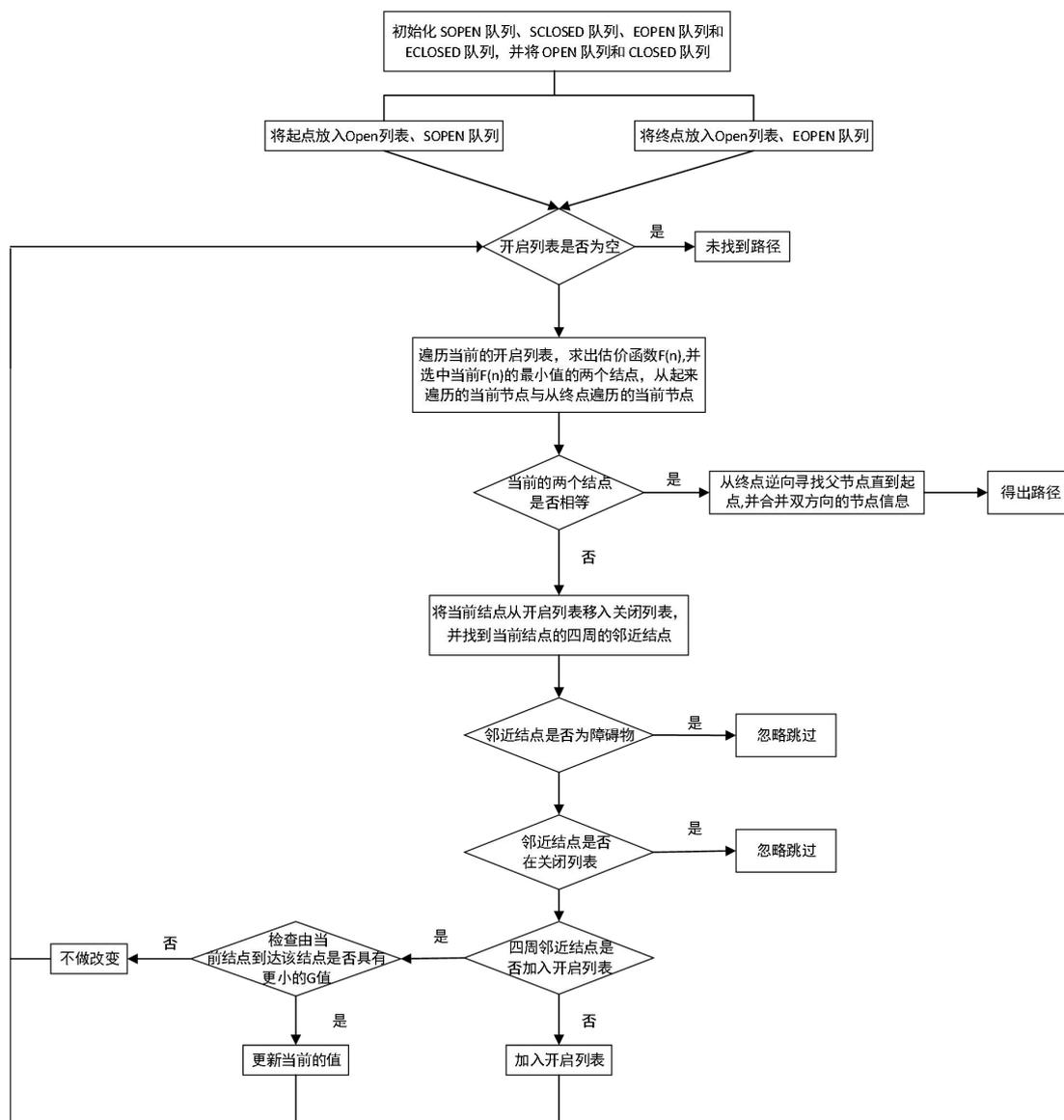


图 9 基于“北斗 + A\*”算法的改进路径规划算法流程图

#### 4.2.4 基于北斗短报文的就医行程实时调度与监控技术

当用户按照本作品设计的路径规划就医时, 路途中可能存在某些意外突发状况, 为保证用户的安全, 本技术设计了基于北斗短报文的就医行程实时监控技术, 其最大的特点在于北斗短报文能够克服通信盲区, 在型号极差甚至无信号服务等恶劣情况下依然能够进行通讯, 并且还能实现双向通讯。其主要实现原理为: (1) 卫星在加密用户所发送的信息、ID、内容后发送到站点让其接受信息; (2) 站点接收到信息后, 将解密后又二次加密的信息传送到广播信息中, 然后发送到用户; (3) 获取用户端的站点接收信息, 解密后显示给用户。注意的是信息通信的传输延迟在 0.5s 左右, 最大通信频率为 1s/次。

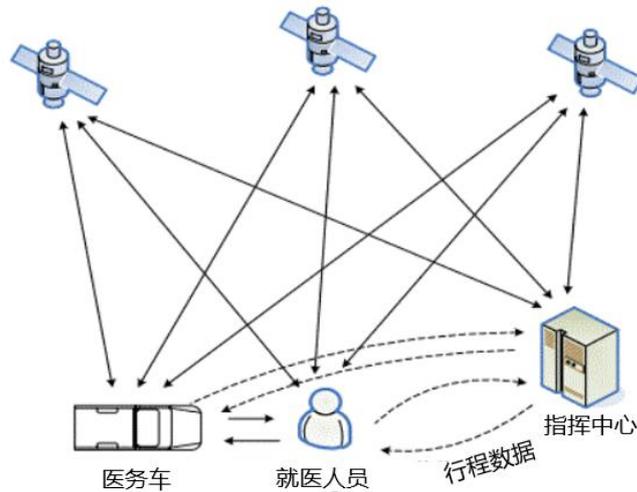


图 10 行程监控示意图

### 4.3 系统实现

本作品根据所研究内容设计并且实现了一个基于北斗的定点医院推荐系统，系统主体功能已经完成，仅有基于短报文的就医行程实时调度与监控模块功能有待优化。具体实现界面如下图组：



图 11 定点医院推荐页面



图 12 最优路径规划页面



图 13 人口热力图页面



图 14 患病概率计算页面



图 15 管理员页面

## 5 应用前景

本文探讨了北斗技术服务于新冠疫情防控的崭新模式，假设未来再次发生类似传染疾病时可立即展开使用。

本作品基本功能适用于高风险地区周边或经过该地区的人群，少部分面向特殊用户设计，如疫情监控部门、防控中心、小区管理人员。常用于小区疫情监测、高发危险地区疫情防控管理、校园疫情监测与防控、车站疫情防控与检查等场合。可用于教育领域、管理领域、高科技技术领域、医疗领域等。

作品各项功能仍可作为单独模块进行独立应用，如：

(1) 患病概率计算可作为判定用户是否患病的指标，可辅助防控部门进行决策。

(2) 基于“北斗+混合双态医疗模型”的定点医院智能推荐算法，针对不同类型、症状、年龄等特征的用户推荐的定点医院可以达到既不浪费医疗资源又可将患者救治的效果，该项技术能极大避免医疗资源的浪费，在未来的智慧医疗中必定大放异彩。

(3) 基于安全算法的路径规划，一方面保证潜在患者及时有效就医，另一方面保证普通用户继续进行社会活动不被感染。

(4) 本作品对于“北斗”应用于其他传染性疾病的防控工作中同样能够发挥巨大作用。

---

## 6 挑战性和不确定性

- 1.本技术研究最大挑战性在于用户数据缺少，无法进行高精度反复测试。
- 2.北斗短报文功能可能存在用户网络波动而无法及时接收到危险路段信息。
- 3.用户数据不完善也可能导致患病概率技术不准确而引发误判。
- 4.本研究对于用户传递的个人信息数据的真实性无法进行判定处理，存在用户虚假信息而导出错误结果。

根据世界卫生组织《2018 年全球道路安全现状报告》显示，全球交通事故死亡人数继续攀升，每年死亡 135 万人，而且如今交通事故是直接导致 5~29 岁儿童和年轻人死亡的首要原因<sup>[1]</sup>。其中，死亡率最低的是欧美发达国家为百万分之 0.93，而中国却大于这一比率。究其原因：一方面是因为驾驶员的交通安全意识仍待提升，另一方面国内的交通监测系统与发达国家确实存在较大差距。

随着自动控制技术、信息处理技术和计算机等技术的进步而提出的智能交通系统是对传统交通系统的一次革命。在现有路况条件下，智能交通系统把人、车、路综合起来考虑，利用高新技术手段，使个体交通行为更加合理，其可以提高交通管理部门的决策能力、减少驾驶人员的操作失误、提高交通运输系统的运行效率和服务水平、增强交通系统的安全可靠性<sup>[2]</sup>。由此可见，推动交通系统的数字化和智能化是解决当前城市交通问题的必然方向。

美国已经成立了美国智能交通协会（ITS America），目的是使交通规划更加科学、设施更加有效、监测更加智能。其趋势体现在交通系统的数字化和智能化上，即能够实现系统的集成化、事故的可预测性、实时信息的主动获取。近年来不断发展的人工智能技术也早已运用于交通系统中。

2018 年，乔川龙在《新一代人工智能与智能交通地展望》一文中提到智能交通的概念在中国已经提出很多年了，如果与现在的人工智能技术相比较，国内的交通系统只能算得上伪智能。比如高速公路智能路网侧布设了大量摄像机（枪机和球形机），这么多年来，虽然摄像机不断地从标清升级到高清又升级到超高清最后升级到 4K 极清，但摄像机并没有改变人工监测路网的本质，只不过将工作人员站在路边看路网搬到坐在监控中心看路网而已，虽然效率上有所提升，但人工监测的本质没有改变<sup>[3]</sup>。

从 2018 年开始，华为、百度、京东等云计算巨头相继入局城市大脑。使用人工智能 AI 等技术来解决目前面临的各种“城市病”问题，解决城市发展难题，实现城市可持续发展，是当今世界城市发展不可逆转的历史潮流。

针对这一现状，在传统交通监测系统上结合新一代人工智能，特别是目标检测，计算机视觉（CV）技术显得尤为重要。因此，数字化城市交通识别和追踪系统能够很好地满足当前的社会需求，解决城市的交通问题。

---

## 参考文献

- [1] 习近平出席建成暨开通仪式并宣布北斗三号全球卫星导航系统正式开通[N].央视网 [2020-07-31]  
<http://m.news.cctv.com/2020/07/31/ARTIR75dQfborwKBbTADz5Kr200731.shtml>
- [2] 第 43 次 CNNIC 中国互联网报告发布[J].中国广播,2019(04):48.
- [3] 徐能武,李晋阳.北斗卫星导航系统在抗击新冠肺炎中的应用和发展前景[J].国防科技,2020,41(03):39-42.
- [4] 崔展,张世义,杨伟培.基于北斗导航的最优路径规划系统[J].科学技术创新,2018(08):57-58.
- [5] 习近平.2020 年 3 月 2 日在北京考察新冠肺炎防控科研攻关工作时的讲话 [DB/OL].(2020-03-02)[2020-03-02] [http://www.xinhuanet.com/2020-03/02/c\\_1125653045.htm](http://www.xinhuanet.com/2020-03/02/c_1125653045.htm)
- [6] 董露.一种基于北斗卫星的定位跟踪系统[P].2017-3-16
- [7] 魏亮,林子雨,赖永炫.DFTS:面向大数据集的 Top-k Skyline 查询算法[J].计算机科学,2019,46(05):150-156.
- [8] 姜如霞,黄水源,段文影等.C4.5 算法的研究及改进[J].南昌大学学报(理科版),2019
- [9] 常慧,王乐,牛青妍,王阳,牛长流.路径预测的 A\*算法优化[J].数码世界,2020(02):138-139.
- [10] 聂易彬,谭明军,刘刚,马璐.基于改进 A\*算法的高速公路互联网地图最短路径搜索研究 [J].公路交通技术,2020,36(04):110-114.
- [11] 杨俊成,李淑霞,蔡增玉.路径规划算法的研究与发展[J].控制工程,2017,24(07):1473-1480.

---

# 基于北斗的疫情防控监测系统

作者：吕佳丽

指导教师：孙景荣

学校：西安电子科技大学

---

**【摘要】**：针对目前新冠疫情中病毒变异、人员流动、疫情反复等状况，疫情防控工作不够精准，新冠病毒难以彻底根除。在疫情防控监测中，为了区别传统的人工信息采集工作，准确的获得人员流动的信息，可以通过设计区域电子围栏来获取人员进出情况，利用传感器探测提取流动人员特征信息，并通过大数据库进行对比，实现自动化的定位跟踪。

本文基于高精度的北斗卫星系统，结合网络通信，大数据处理技术，利用毫米波雷达搭建传感器平台，建立出区域电子围栏，对进出的人员进行监测。当监测到有人出入时，地面信息处理站及时向该区域管辖站发送预警信息，并且通过图像采集、MyFiziq 人体成像技术捕获流动人员的特征信息，进行大数据处理比较后，得到流动人员的身份信息。最后通过网络通信，数据共享得到流动人员的车辆、航班等信息，并借助北斗系统精准的定位功能，结合定位到的位置信息与时间信息，获取其出行轨迹。

该方案高精度的采集了流动人员的轨迹信息，实现了对疫情防控的自动化监测，极大的提高了疫情防控工作的效率与精准性。

**【关键词】** 仿生、地质采样、3D 打印、八足机器人、矿洞勘测

**【Abstract】** With the development of technology, robot has been widely used in all walks of life. Our project aims to make a simulated eight-legged robot for mine exploration to collect information and geological sampling, further for playing a role in the exploration of dangerous areas. Through the use of 3D printing technology, we design the external shape of this small eight-legged robot which is controlled by the steering gear control panel. It is designed to carry out autonomous activities by imitating the survival skills of spiders or by remote control to realize the function of information collection and mine investigation.

**【Key words】** Beidou satellite system regional electronic fence Myfiziq body imaging technology

---

## 1 绪论

### 1.1 背景及意义

自 2019 年年底新冠疫情爆发后，中国首先进入一级防控状态，武汉等多所城市相继封城。2020 年 1 月 13 日，泰国通报首例确诊病例，2020 年 1 月 16 日，日本也确认首例确诊病例，新冠病毒在全球各个国家中蔓延，成为全球各个国家所面临的一场灾难。面对不可控的人员流动，如何对日益严重的疫情进行防控，对感染、疑似或高发地区人员活动进行监测，成为全球的一项难题。

## 1.2 研究现状

新冠疫情在我国已经得到有效控制，但一些其它国家仍未有效的控制疫情。而针对封城或某些高发地区的人员流动，想要精准的、自动的获取到相关人员流动的轨迹仍然困难。而北斗卫星能在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位的功能使实时精准的得到疫情期间相关（疑似、确诊、高发地区等）人员的出行轨迹成为可能。

根据现状，我设计了基于北斗的疫情防控监测系统，结合北斗的精准定位功能，对境外输入或疑似病例等相关人员进行实时定位，得到其流动轨迹，获取相关接触人员信息，并利用定位功能及时捕捉流动人员，对疫情的传播进行实时有效的监测、控制。

## 2 方案设计

### 2.1 设计思路

利用北斗系统进行定位并结合高发区域（国家、城、县等）的周围位置信息，通过地面信息处理站设置一个电子围栏，当有人从境外输入时或从封城或高发区域向外流动跨过所设置的电子围栏时，向区域管辖站发送预警信息，并通过雷达探测、红外成像等监测手段结合高精度的北斗卫星定位系统实现对流动人员的精准定位，监测其流动轨迹。

### 2.2 方案总体设计

在该方案中，为了实时、有效、精准的落实疫情防控工作，我们必须准确的获得境外输入人员、疫情高发地区进出人员、疑似病例、无症状感染者等的流动轨迹信息。此方案首先通过北斗卫星定位系统，结合与地面信息处理站的实时通讯，计算、设计电子围栏来获取人员进出情况，然后通过传感器探测提取流动人员特征信息，最后将获取的人员特征信息与大数据库进行对比，对其进行标记并实时定位跟踪。

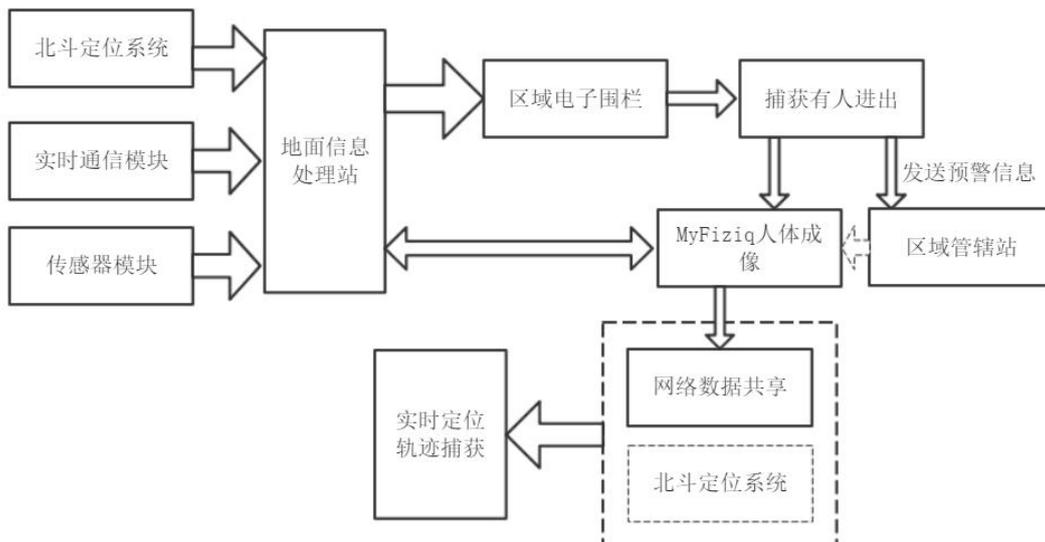


图 1 方案总体设计框图

### 3 构建区域电子围栏

#### 3.1 应用现状

目前电子围栏系统主要以网络电子围栏为主，其不仅能够远程实时的掌握电子围栏系统的工作状态，并且能够根据实时的位置信息来远程调配电子围栏的工作参数。而电子围栏技术也广泛应用于共享单车的管理上，而共享单车的大规模、区域化管理与我们想要构建的区域电子围栏也极为相似。那么管理共享单车的电子围栏技术是否能够应用在区域电子围栏上呢？

共享单车电子围栏技术主要有如下几种：（1）基于卫星定位技术（GPS）的电子围栏，其利用一般 GPS 定位方法，将单车的停放点限制在地图上规定停放点附近的一定范围内，但这种方法的定位不够准确。（2）使用固定安装在停放点的蓝牙读写设备读取车载蓝牙标签的电子围栏（3）使用车锁蓝牙读写设备读取固定安装在停放点的蓝牙标签的电子围栏。这两者均利用蓝牙设备，通过移动通信网络传到后台管理平台，来实现对车辆停放的规范管理。但这种方法问题太多，不仅投入大，安装运营维护成本高。

所以根据分析可知，管理共享单车的电子围栏设备并不适合用在我们所需要的构建的区域电子围栏上。为了实现高精度定位与低成本投入，我们可以基于北斗定位系统构建网络区域电子围栏。

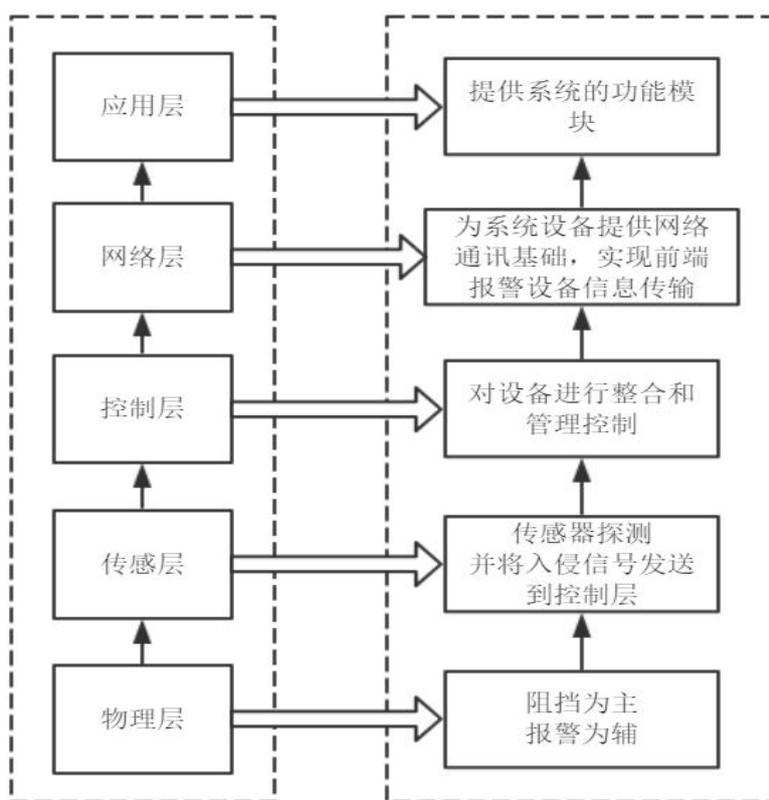


图 2 网络电子围栏总体架构体系

#### 3.2 应用目标与功能

基于高精度的北斗定位系统的区域电子围栏的设计，主要通过高精度的北斗卫星定位系统对疫情高发区域的周围位置信息进行监测，采集。并且结合北斗系统的实时通信系统，将区域的位置信息传递到地面信息处理站，反馈的预

警信息传递给该区域的管辖站，从而实现对疫情期间高发地区人员流动，境外输入等情况的实时监测，预警，有效的控制疫情传播。

其实现的功能主要如下：

#### (1) 电子围栏功能

当基于高精度北斗定位系统设置电子围栏功能时，人员在进出围栏时，将会进行报警。人员定位器电子围栏生成有两种方式：人员高精度北斗定位终端具有电子围栏打点功能，人员携带终端在需要生成电子围栏的区域进行关键节点位置采集并打点，生成电子围栏的位置信息并存储在本地信息处理站；网络管理平台利用数传电台模块将电子围栏数据点文件传输给人员定位器，人员高精度北斗定位终端将电子围栏位置信息传递给地面信息处理站并自动生成电子围栏；

#### (2) 人员进出预警

在电子围栏的关键节点安置毫米波雷达，搭建传感器应用平台，当探测到有人进出时，获取人员接近信息，通过人员与电子围栏的位置计算，实时判断电子围栏与人员的距离，当超过安全距离时，系统将产生报警信息。

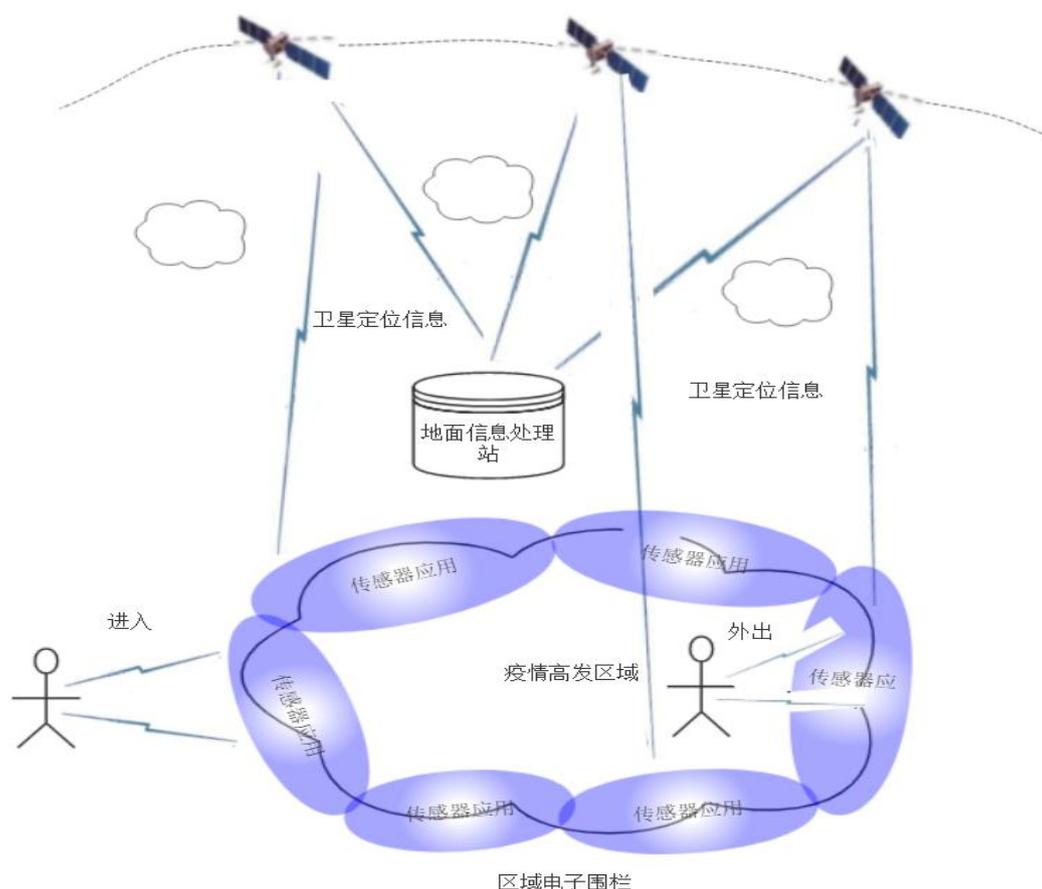


图3 实际工作图

### 3.3 组成部分

区域电子围栏主要通过北斗卫星系统、地面信息处理站以及传感器应用平台三部分实现。

其主要利用北斗定位、毫米波雷达等技术对防护点等采集关键数据，并采用高覆盖、高速度的5G公网进行数据传输，通过地面信息处理站对数据进行计算、处理，进而实现出入人员定位、电子围栏防护、预警等应用。

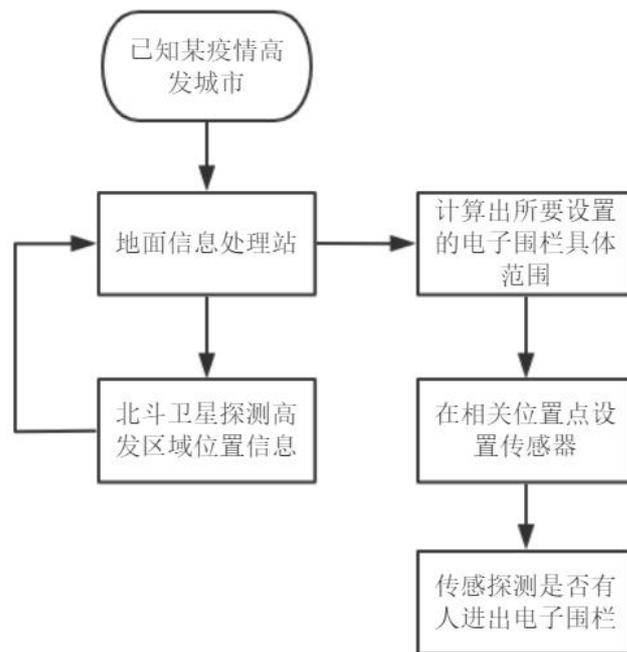


图4 区域电子围栏设计流程图

### 3.3.1 北斗卫星系统

北斗卫星导航系统目前可以实现在全球范围内全天候、全天时工作，其主要由空面段、地面段和用户段三部分组成，可为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务。并具短报文通信能力，已经初步具备区域导航、定位和授时能力。

在电子围栏的设计中，我们主要利用北斗系统的高精度定位功能，以及实时的通信功能。通过北斗卫星系统，监测到区域的位置信息，将位置信息通过通信模块传递到地面信息处理平台。由于疫情具有实时更新特性，所以北斗系统监测位置信息可以以天为单位，根据每天的疫情情况，对需要设置电子围栏的区域进行位置信息的更新迭代。

表1 北斗系统当前基本服务性能指标

服务区域	全球
定位精度	水平 10 米，高程 10 米（95%）
测速精度	0.2 米每秒（95%）
授时精度	10 纳秒（97%）
服务可用性	优于 95%，在亚太地区，定位精度水平 5 米、高程 5 米（95%）

### 3.3.2 地面信息处理站

地面信息处理站应具有大数据处理计算及实时更新迭代功能。当接收到北斗卫星系统传递的地面位置信息后，结合区域的地面建筑等信息，得到需要设置的电子围栏的位置坐标点，并通过对位置进行高精度定位解算，准确的获取覆盖范围地区，生成电子围栏。

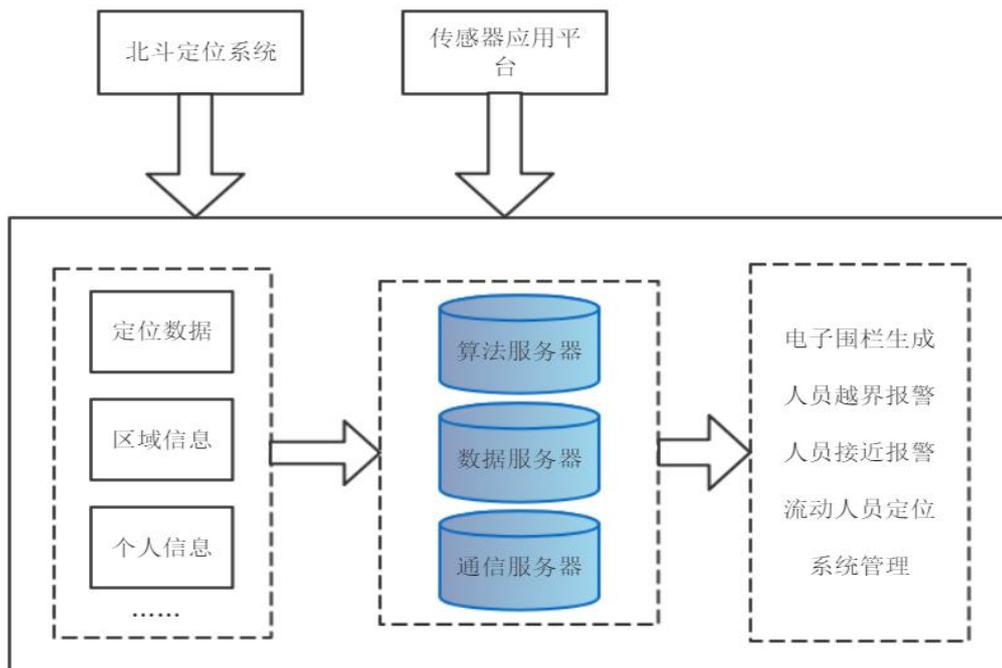


图 5 地面信息处理站工作图

### 3.3.3 传感器应用平台

目前传感器技术主要有压电式、光纤式、热电式、气体、温度、红外、雷达等等。而应用较为广泛、精确的就是雷达传感器。

传感器应用平台主要结合北斗卫星系统和地面信息处理系统在电子围栏的关键位置的坐标点设置，通过毫米波雷达，监测进出电子围栏的人员流动情况。

毫米波雷达传感器使用 30~300GHz 频域即波长为 1~10mm 的毫米波。而毫米波还有微波制导和光电制导的特点。其中 24GHz、77GHz 频域的雷达传感器主要应用在汽车防撞上。由于毫米波的波长介于厘米波和光波之间，所以和厘米波雷达相比，毫米波雷达具有易集成、体积小和空间分辨率高的优点。与摄像头、红外等光学传感器相比，毫米波雷达穿透烟、雾和灰尘的能力强，抗干扰能力高，能够全天候（大雨天除外）全天时工作。

表 2 毫米波雷达传感器的特点

传感器构成	毫米波（30~300GHz 频域波长为 1~10mm）
毫米波优点	微波制导和光电制导
毫米波雷达	易集成、体积小和空间分辨率高、穿透烟、雾和灰尘的能力强，抗干扰能力高，能够全天候（大雨天除外）全天时工作
探测范围	150m-200m

其中毫米波雷达传感器主要由 CW 多普勒雷达传感器和 FMCW 雷达传感器构成。多普勒雷达基于多普勒效应原理，向给定的目标发射微波信号，其中发射波为，调频连续波，其频率随时间按照三角波规律变化。雷达接收的回波的频率与发射的频率变化规律相同，都是三角波规律，只是有一个时间差，利用这个微小的时间差可计算出目标距离。然后通过分析反射回来的信号的频率

变化，发射频率和反射回来的频率的差异，可以精确测量出目标相对于雷达的运动速度等信息，从而测量得出不同距离目标的位置。

我们可以通过已在定的电子围栏的关键区域安装毫米波雷达对进出人员进行探测。

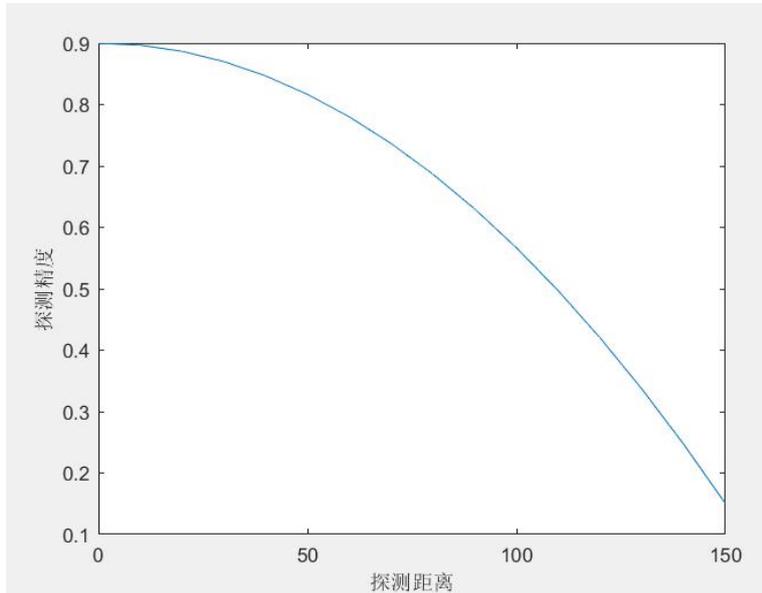


图 6 毫米波雷达探测准确性随距离的变化

## 4 轨迹定位

### 4.1 电子围栏流动人员定位

对于进出电子围栏的人员我们主要通过 MyFiziq 人体成像技术来提取其身份特征。MyFiziq 提供一项可嵌入到合作伙伴应用程序中的新技术，我们首先可以通过在电子围栏的关键位置安放摄像头或拍摄系统，当有人进出电子围栏时对其进行拍照，然后使用拍摄的图像创建人体 3D 画像，提供精确的维度测量。

MyFiziq 利用计算机视觉、机器学习和专利算法的强大功能，在安全的企业级基础设施上处理这些图像。然后将处理后的图像与大数据进行对比，根据特征信息获取一个或多个可能者的身份信息，并对这些人进行标记跟踪。

即当电子围栏监测到有人进入（境外输入）或者外出时（从高发区域向外流动），将会通过传感器应用平台，传感器应用平台向该区域管辖站发出预警信息。同时通过传感器探测等技术，根据此人的生理、体征等信息，对此人进行标记，并将标记信息传递给地面信息处理站，地面信息处理站结合北斗定位系统，对其轨迹进行实时定位。

### 4.2 疑似、无症状感染者定位

根据目前疫情发展形势来看，目前许多疑似、无症状感染者需经两到三次的核酸检测才能确定是否为确诊患者。在此期间，仍有一部分疑似患者出行，给疫情防控工作带来严峻的挑战。即便在确诊后，在此期间的活动轨迹只能用传统的方法进行询问，过程不仅复杂繁琐，而且具有很大的不准确性。

而借助于北斗卫星定位系统对疑似、无症状感染者的出行实时的定位，并且将定位信息传递给地面信息处理站，监测、处理、计算出疑似、无症状感染

者的出行轨迹，乘坐车辆信息等，可以给疫情防控工作带来便利，也使得信息更为精准。

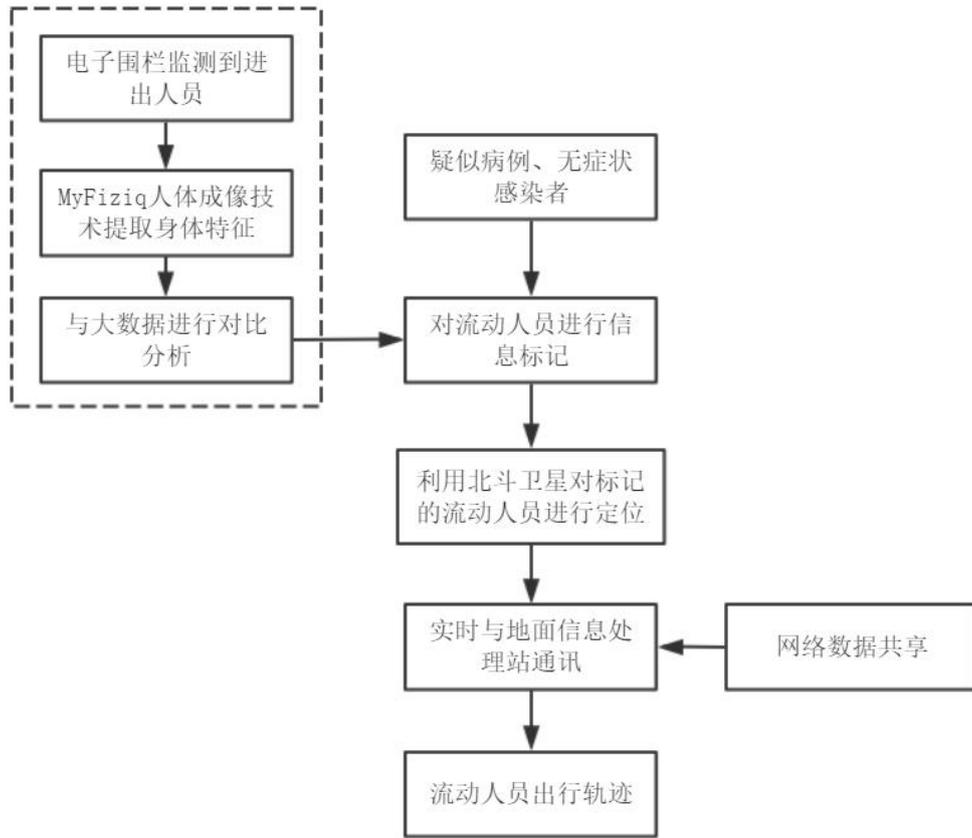


图7 轨迹定位流程图

## 5 方案特色

该方案利用北斗卫星的精准定位以及实时通讯的特点，结合大数据信息处理，传感器探测，MyFiziq 人体成像技术等实现对疫情防控的人员流动信息的自动化监测。在电子围栏的设计上，采用北斗卫星精确的定位区域电子围栏的位置信息，并结合传感器探测构建电子围栏，能够根据疫情防控状态随时更新区域电子围栏的范围。在可疑人员的流动轨迹、车厢信息、接触人员等信息的获取上，相比于以往传统的人工采集工作，此方案结合北斗定位系统对标记的可疑人员进行实时定位跟踪，并结合大数据共享获取可疑人员在出行过程中的流动信息，大大提高了测量精度与准确性，使得疫情防控工作更加精准，实时。

## 6 总结

方案的优点是就目前紧张的疫情防控工作、疑似者复杂的出行轨迹、接触人员信息的采集工作设计了一个更为便捷、实时、精准的疫情防控监测系统。系统基于高精度、高热度、高性能的北斗卫星获取准确的定位信息，并利用快速的通信功能将位置信息交与大数据处理模块，结合传感器探测及特征信息提取成像技术，对人员流动实时监测，实现了区域电子围栏的自动化更新以及可疑人员出行信息的自动化精准记录。

---

但方案仍然存在一些不足，在电子围栏的设计中，我们通过雷达探测实现对电子围栏的构建，所以在雷达的安装实现上，可能存在一定的难度。此外我们利用 MyFiziq 人体成像技术对于进出电子围栏人员的特征信息进行获取，并且通过大数据对比来识别人员信息的方法仍然不够精准。

在进行一系列调查和分析后，我感受到了防控工作精准化落实、人工信息采集的不易，并设计出了以上方案来实现对疫情防控的自动化监测，虽然不能奋斗在战役一线，但仍希望利用现有的技术为疫情防控工作做出自己的一份贡献。

### 参考文献

- [1] 欧阳籽勃, 陈云峰, 宋志丹. 基于高精度北斗组合定位电子围栏技术研究及应用[J]. 卫星应用. 2019, (1):33-39.
- [2] 王炎, 郑链, 王克勇. 用于成像引信图像识别的局部特征提取技术[D]. 北京:北京理工大学. 2001.
- [3] 杨杰, 张凡. 高精度 GPS 差分定位技术比较研究[J]. 移动通信. 2014, (2):54-58,64.
- [4] Kitchen L and Rosenfeld A. Gray Level Corner Detection[J]. Pattern Recognition. 1982,95~102.

---

## 基于北斗导航的智能农业病虫害检测小车

作者：刘量

指导教师：徐子川

学校：辽宁省大连市金州区大连理工大学开发区校区

---

**【摘要】：**传统的农业生产依靠大量的人力，工作任务量十分巨大。在病虫害检查方面普遍依靠人工，识别效率低且成本巨大。随着物联网技术的发展，我们发现智慧农业的这大问题，并结合北斗导航技术和先进的计算机视觉算法，开发了这套智能农业病虫害检测小车，以此来解决这一大痛点问题。在智能车方面，我们开发了病虫害检测小车，以北斗导航技术作为技术支撑，以机器视觉进行环境识别并采集相关的数据。在物联网方面，我们开发了一个病虫害检测平台，能够对收集到的数据进行处理。相较于 RGB 的颜色空间模型，为了追求图像的可辨识度，我们创造性的使用了 HSV 颜色空间模型。并基于深度学习，采用 Tensorflow 框架的 Inception V3 模型，对病虫害进行了模型训练，得到了图片分类模型，准确率稳定在 80.37%左右。最后，在上述的基础上，我们开发了一个病虫害检测平台，提供温室控制、环境数据采集、病虫害报警、病虫害预警等功能，对于病虫害的检测具有显著效果和重大意义。

**【关键词】：**北斗导航，智能车，智能农业，病虫害检测

**【Abstract】** Traditional agricultural production relies on a lot of manpower, and the workload is huge. The inspection of plant diseases and insect pests generally relies on manual labor, which has low identification efficiency and huge cost. With the development of the Internet of Things technology, we have discovered this big problem of smart agriculture, and combined with Beidou navigation technology and advanced computer vision algorithms, we have developed this intelligent agricultural pest detection car to solve this big pain point. In terms of smart cars, we have developed a pest detection car, with Beidou navigation technology as a technical support, and machine vision for environmental recognition and collection of relevant data. In terms of the Internet of Things, we have developed a pest detection platform that can process the collected data. Compared with the RGB color space model, in order to pursue the recognizability of the image, we creatively use the HSV color space model. Based on deep learning, the Inception V3 model of the Tensorflow framework was used to train the pests and diseases, and the image classification model was obtained, and the accuracy rate was stable at about 80.37%. Finally, on the basis of the above, we have developed a pest detection platform that provides greenhouse control, environmental data collection, pest warning, pest warning and other functions, which has significant effects and great significance for pest detection.

**【Key words】** Beidou navigation, Smart car, Smart agriculture, Pest detection

---

### 前言：项目背景

传统的农业生产依靠大量的人力，工作任务量很大。物联网的运用，这些问题也能得到有效解决。例如美国的农业，一个人可以看管种植上千亩土地，

---

不需要很多的人力，靠的就是完全智能化的应用。我国的农业智能化也在慢慢普及，现在最常见的就是飞机喷洒农药。传统的喷洒农药时间消耗大，而且对人的身体健康有一定的伤害，但是人控制飞机喷洒农药便能解决这些问题，而且还能喷洒的更均匀，减少农药的浪费<sup>[1]</sup>。

传统的农作物收割，只能依靠人力将成熟作物割下并脱粒，这是一项比较消耗劳动力的工程。但是随着我国的发展进步，收割机的使用代替了人工，收割的速度提高了，人力资源的占用减少了，浪费减少了，使得农作物整体的工作效率大大提高了。

我国的农机智能化并不简单只是用在农业生产机械上，还有新能源的应用，太阳能、风能是最常见的，也是我们比较经常听到的，那到底是如何应用的。植物和禽畜都是需要光照作用的，但是有时候季节会不允许不应季的植物进行合理的光合作用，有些禽畜也需要人工干涉，太阳能设备可以为它们提供光能和热量，还可以运用某些设备治理病虫害，既能解决农药残留问题，也能解决农药污染环境的问题。

智慧农业和智能化农机直接关系到农业的发展、农民生活水平的提高以及农村经济的发展。通过调查研究，我们可以知道美国、日本等农业发达国家的智慧化农业发展是比较迅速的，也得到了全方面的应用。智慧农业在我国东北地区也得到了全面普及。我国虽然与这些发达国家在农业方面存在差距，但我国智慧农业的进步也是有目共睹的，近年来我国智慧化农业也得到了很大的发展，正在减小与发达国家的差距。智慧农业和智能化农机的的发展离不开国家的坚持不懈，也离不开广大农民的认可及努力学习。我国在农业领域投入的资金越来越多，农民的生活也得到了很大的改善，农村的发展也在向城市看齐<sup>[2]</sup>。

## 1 项目概述

特色植物病虫害信息智能收集检测一体化服务平台项目的开展，主要分为三个阶段。

1. 初级阶段：主要是通过病虫害检测小车来对以六安瓜片、霍山石斛为代表的特色农产品的病害进行无损检测和早期识别。例如，六安瓜片、霍山石斛在受到病害侵染以后，外部形态及生理效应均发生一定的变化，其图像特征与健康作物相比均存在不同程度差异。本项目通过无线传感器网络技术,实现农田光照、温度、CO<sub>2</sub>浓度等环境信息的自动化采集，并实时上传至阿里云数据库，用户可以根据需要，随时查看农场情况，发布自动化操作任务。随着基于深度学习的图像分析技术越来越多地应用于农作物病虫害的无损检测中，可以实现基于图像的植物病虫害检测功能。

2. 发展阶段：本项目创新性地使用了特色农产品病虫害诱导法，不需要冗长的植物生长周期亦不需要昂贵的种植设备，使病害农作物的理化性质更快速的呈现出来，便于收集六安瓜片、霍山石斛等特色农产品的数据集，与自然环境中的病害进行对比分析研究。

3. 最终阶段：本项目将实现六安瓜片、霍山石斛等特色农产品病害自动化、智能化的实时监测,并通过物联网将数据信息融入农业大数据当中，构建基于“互联网+”的信息化服务平台，集互联化、物联化、智能化多种方式，综合无线传感技术、自动控制技术、网络技术、数据库技术为一体的智慧农场如图 1-3 所示。并开展后续解决方案，实现及时处理与预防，从而实现植物病虫害智能收集检测解决的一体化服务。

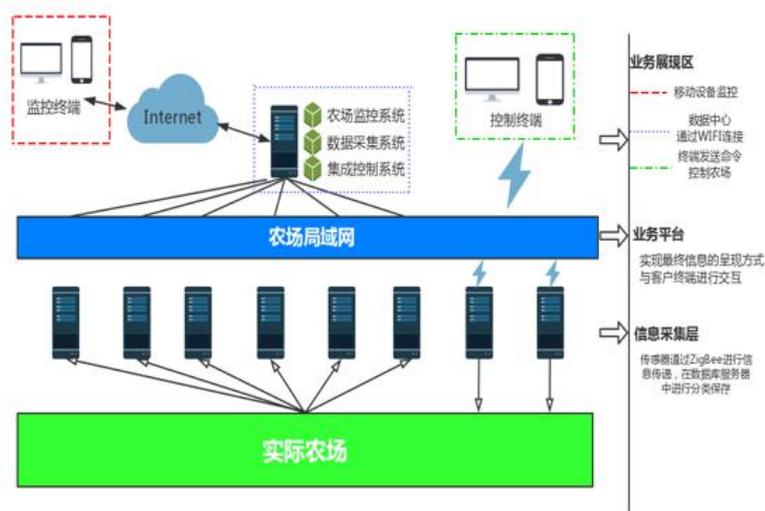


图 1-1 系统框架



图 1-2 可视化管理平台

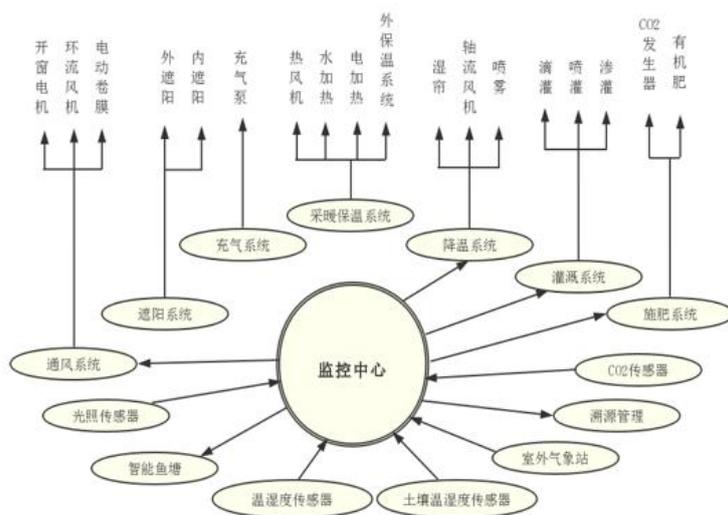


图 1-3 智慧农场

## 2 项目实施

### 2.1 数据采集

数据的采集我们分为了以下两种方法：

#### 1) 固定式信息采集

该种采集方式主要应用于标准化大棚，物联网采集环境信息。系统中使用 STM32F103C8T6 单片机，用 MDK519keil 编写程序，连接传感器建物联网。该部分界面呈现出的效果如图 2-1 所示，部分使用传感器如图 2-2、图 2-3、图 2-4 所示，大棚结构如图 2-5 所示：



图 2-1 物联网平台图



图 2-2 精密空气温湿度传感器



图 2-3 精密土地温湿度传感器



图 2-4 Co2 传感器



图 2-5 室内温室大棚

大棚中固定可旋转摄像头采集图像信息，选用树莓派 3B 单片机实时检测控制画面。本系统旨在用简洁的调用方式、较低的系统占用，获取最高质量 1080P 高清的图像视频信息。

其主要功能是数据传输层 主要功能大体上可分为：

a) 接受指令：通过 HTTP GET/POST 方式获取命令 进行拍照、图像流传输等操作。

b) 截取视频流：通过 OPENCV 对视频流进行预处理，截取（拍摄）所需的图片，并压制成适合传输的格式。

c) 低时延图像流传输：通过传输图像流模拟视频流，来降低树莓派自生的编码能力低下的漏洞，并提供高画质高帧率低时延的视频体验。

d) 图像二次编码传输：使用 Base64 编码对图像进行编码，使图像更易于通过 JSON 方式获取

其环境配置为：Python3；Django2；Opencv3；MJPEG-streamer。开启 MJPG-streamer，采集摄像头数据即可。

## 2) 移动式信息采集

为了适应室外环境，尤其是山区等道路崎岖地区，系统采用 GPS 路径规划智能车进行移动式信息采集，病虫害检测智能小车如图 2-6 所示，其上位机如图 2-7 所示，GPS 界面如图 2-8 所示：



图 2-6 病虫害检测智能小车

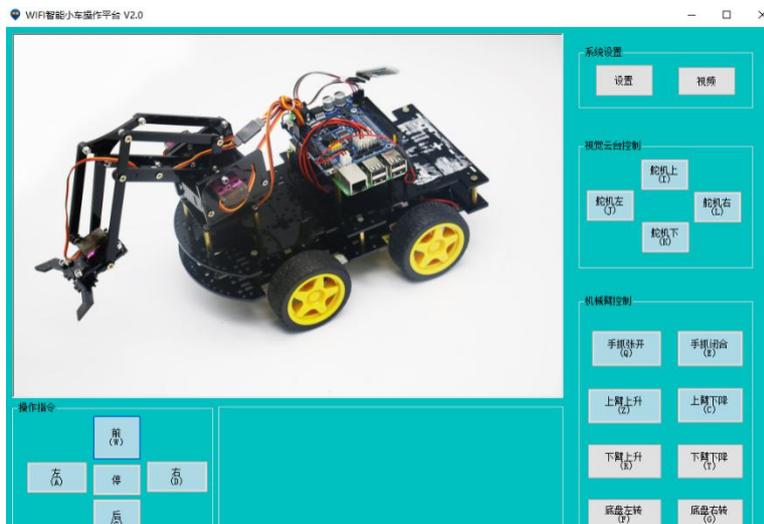


图 2-7 上位机

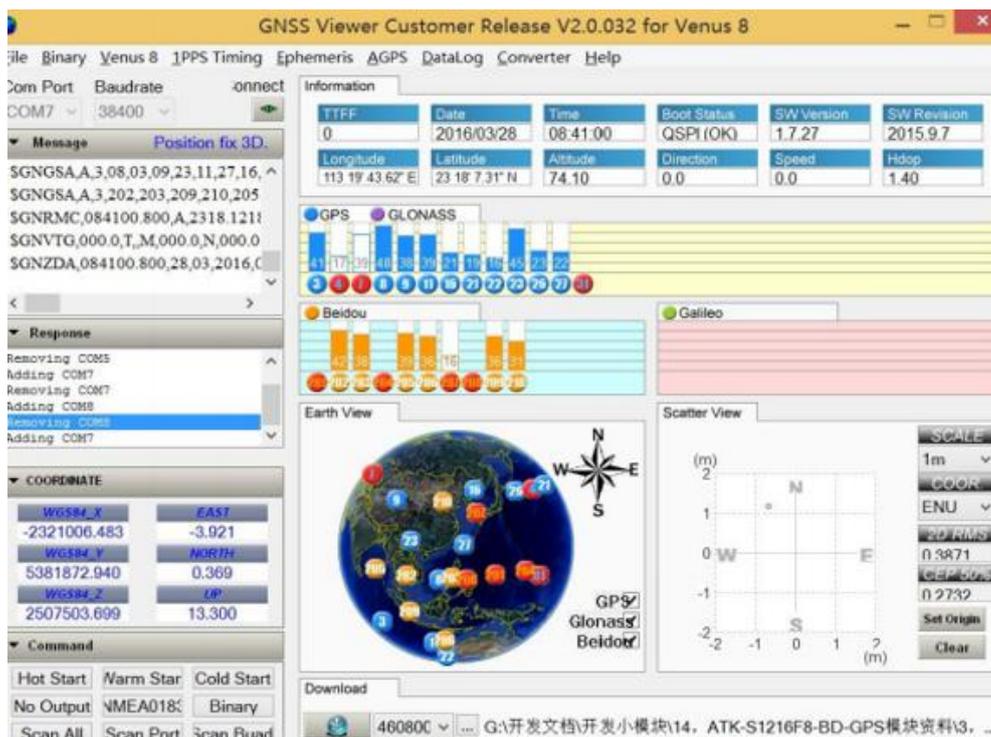


图 2-8 GPS 界面

我们采用 OpenMV 模块，搭载在舵机云台上，通过舵机驱动板驱动舵机，实现可操作的摄像头选择等功能，从而采集各个方向的图像数据，摄像头模块和摄像头如图 2-9、图 2-10 所示：

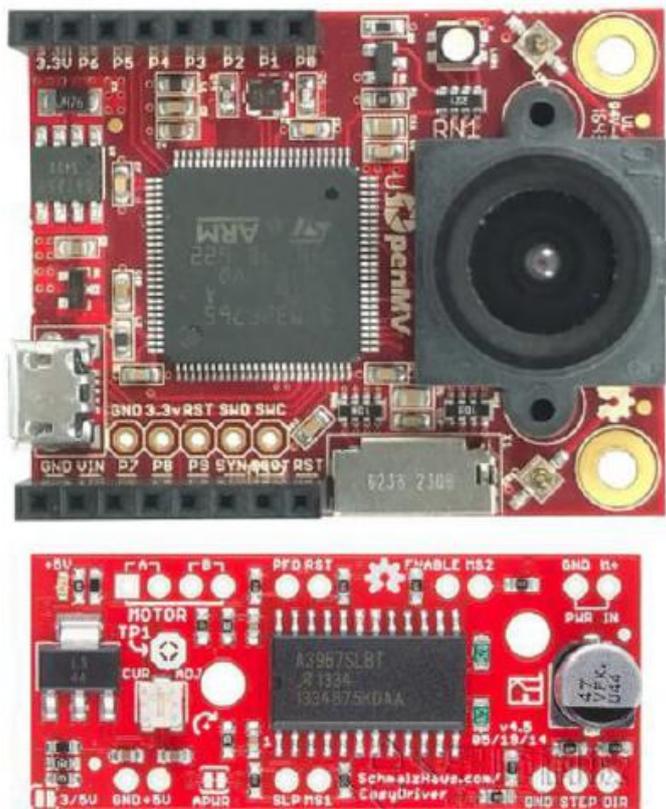


图 2-9 OpenMV 摄像头模块



图 2-10 摄像头

在此基础上，我们使用了 HY-SRF05 超声波模块，通过收发超声波，提供非接触式距离感测功能。超声波模块原理图如图 2-11 所示，超声波模块实物图如图 2-12 所示：

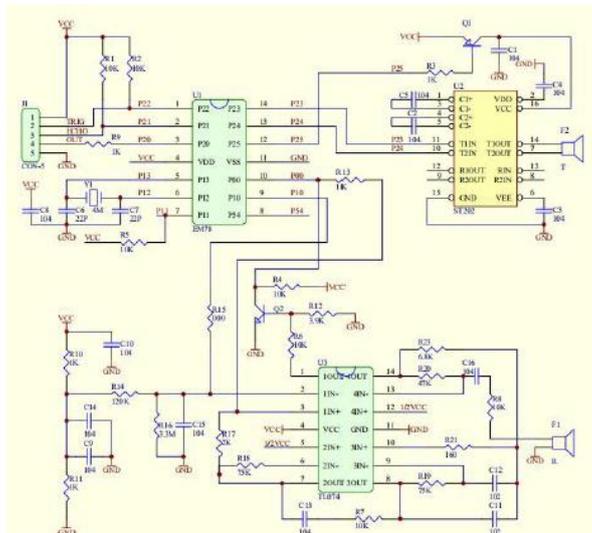


图 2-11 超声波模块原理图

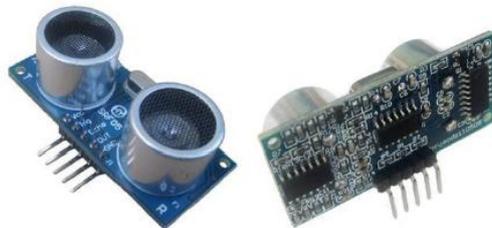


图 2-12 超声波模块实物图

我们所开发的病虫害检测小车的主控板电路图如图 2-13 所示：

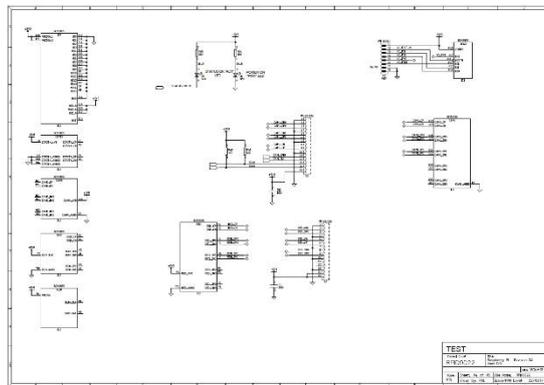
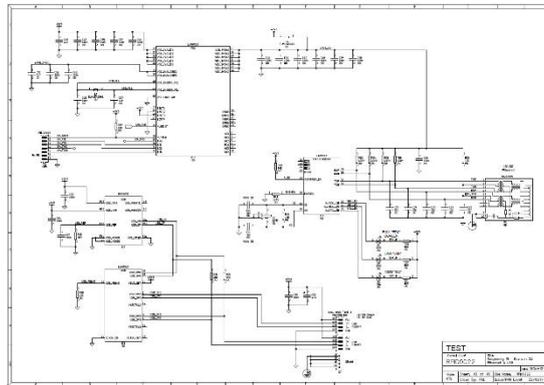
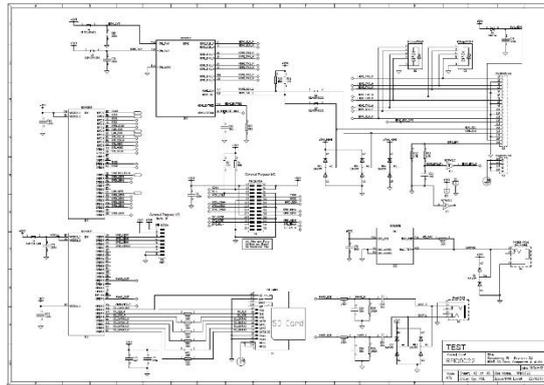
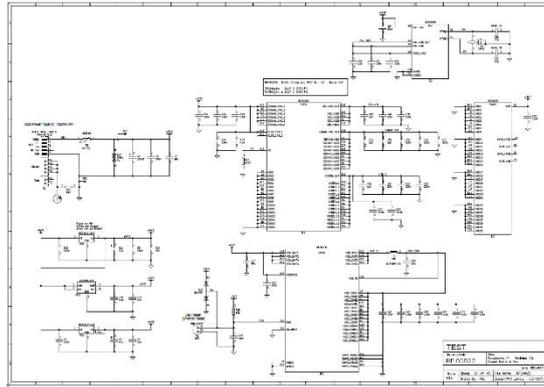


图 2-13 主控板电路

其扩展板的电路图如图 2-14 所示：

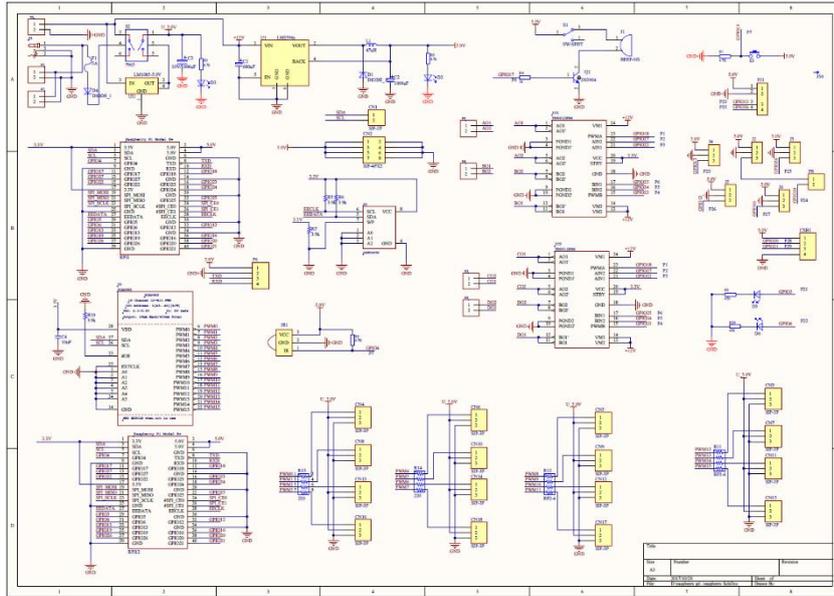


图 2-14 扩展板电路图

## 2.2 模型构建

系统通过收集大量的图像数据集，训练深度学习模型，实现“看图识病”，让人工智能代替农技人员，充当植物的“医生”。

首先介绍我们的模型训练的步骤：

### 1) 获取数据集：

即收集供神经网络训练的已知病害的植物图片集，主要有两种获取方式：

- a) 生物诱导法采集，对植物进行病毒诱导得出有标记的植物图片。
- b) 室外（大棚）采集，由合作企业提供当地产区的无标记植物图片。

### 2) 数据预处理：

#### a) 图像标记：

对所有的植物图片进行标记，按照植物的生长周期和生长情况对植物图片进行标记分类。

#### b) 颜色空间变换：

引入 HSV 颜色空间代替传统的 RGB 颜色空间来帮助处理图像，有助于提高图像的可辨识度：

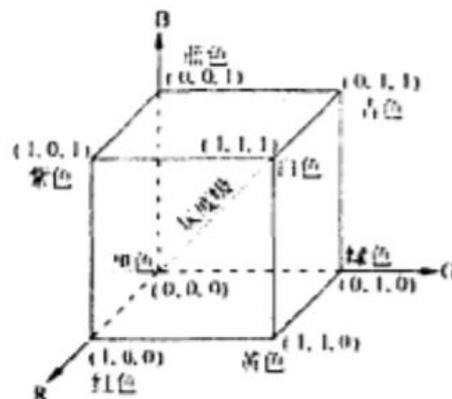


图 2-15 RGB 颜色空间模型

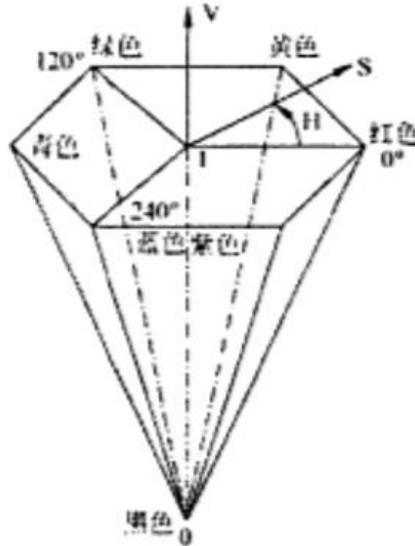


图 2-16 HSV 颜色空间模型

c) 标准化处理:

为了便于对数据集进行操作,我们将图像的大小统一设置为 299\*299 的大小,同时提高图像的对比度,以提高图像的可辨识度。

d) 数据增强:

- (1) 对图像进行一定比例缩放。
- (2) 对图像随机位置的截取。
- (3) 对图像进行随机的水平和垂直旋转。
- (4) 对图像进行随机角度的旋转。
- (5) 对图像进行亮度、对比度和颜色的随机变化。
- (6) 将图像集随机排序,分为训练集、测试集和验证集。

3) 训练模型:

a) 特征提取,通过卷积神经网络对输入的图片进行特征提取。

b) 强化特征向量,通过池化层对提取的特征进行强化,在保证准确率的前提下,尽可能减少无关特征,提高训练效率。

c) 分类,通过全连接层从特征向量中提取相关特征,从而形成一个预测准确率较高的分类模型。

4) 预测识别:

将测试集中的植物图片放入模型中进行分类预测,预测植物的生长情况并对病虫害情况进行统计。

我们需要配置的模型的环境配置为: Python3, Anaconda3, Tensorflow-GPU。

Google 的 InceptionNet 首次亮相是在 2014 年的 ILSVRC 比赛中,并且以 top-5 错误率 (6.67%) 略低于 VGGNet 的优势取得了第一名。习惯上,将 2014 年的版本称为 Inception V1,截止至 2019 年 2 月,InceptionNet 一共开发了五个版本,Inception V3 是比较好的版本。

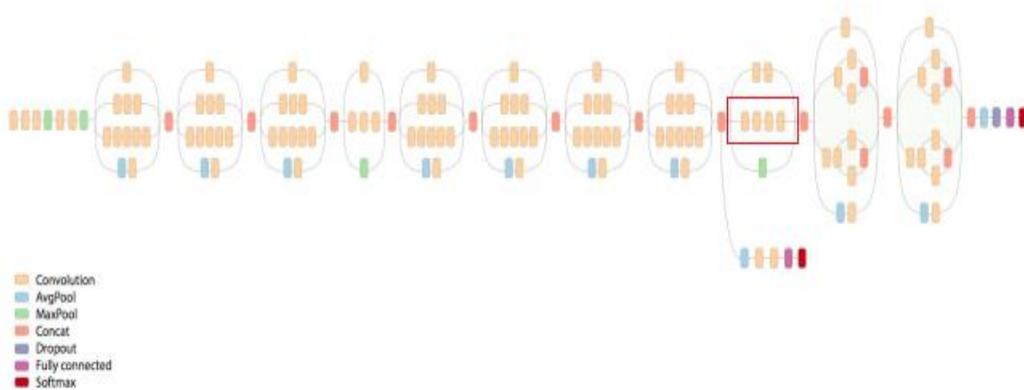


图 2-17 Inception V3 模型架构图

Inception V3 网络结构

类 型	kernel 尺寸/步长 (或注释)	输入尺寸
卷积	3×3 / 2	299×299×3
卷积	3×3 / 1	149×149×32
卷积	3×3 / 1	147×147×32
池化	3×3 / 2	147×147×64
卷积	3×3 / 1	73×73×64
卷积	3×3 / 2	71×71×80
卷积	3×3 / 1	35×35×192
Inception 模块组	3 个 Inception Module	35×35×288
Inception 模块组	5 个 Inception Module	17×17×768
Inception 模块组	3 个 Inception Module	8×8×1280
池化	8×8	8×8×2048
线性	logits	1×1×2048
Softmax	分类输出	1×1×1000

图 2-18 Inception V3 网络结构表

本次用到的 Inception V3 模型是 Google 基于 ImageNet 数据集训练好的图片分类模型，在此基础上进行修改，使其能够解决当前需要的图片分类任务。由于训练好一个模型需要强大的计算机算力，因此，我们选择通过使用阿里云超算平台来使用 Inception v3 训练我们的图片分类模型。目前模型的准确率稳定在 80.37%左右。

### 3 结果分析

我们得到的预测结果返回 JSON 格式，包含植物图片名称 Image\_ID，病害种类 disease\_class。

部分表格如图 3-1 所示：

Label id	Label name (标签名)
0	茶叶健康
1	茶饼病(一般)
2	茶饼病(严重)
3	茶根癌病(一般)
4	茶根癌病(严重)
5	茶圆赤星病(一般)
6	茶圆赤星病(严重)
7	茶轮斑病(一般)
8	茶轮斑病(严重)
9	茶云纹叶枯病(一般)
10	茶云纹叶枯病(严重)
11	茶褐色叶斑病(一般)
12	茶褐色叶斑病(严重)
13	茶赤叶斑病(一般)
14	茶赤叶斑病(严重)

图 3-1 结果标签 (部分)

结果可视化：运用 Python 用于生成 Echarts 图表的拓展类库 Pyecharts 绘制柱状统计图使结果可视化。其中，以植物病害种类为 x 轴数据，每种病害植物数目为 y 轴数据，以训练集数据为例展示如图 3-2 所示：

茶叶病害统计图

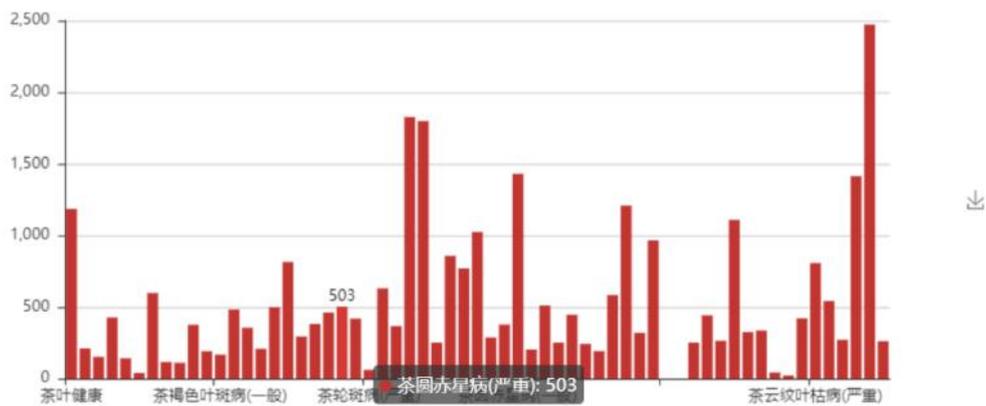


图 3-2 可视化统计图

传感器收集得到的信息，通过阿里云对象存储 OSS 对采集的数据图片进行存储与管理，如图 3-3 和图 3-4 所示：

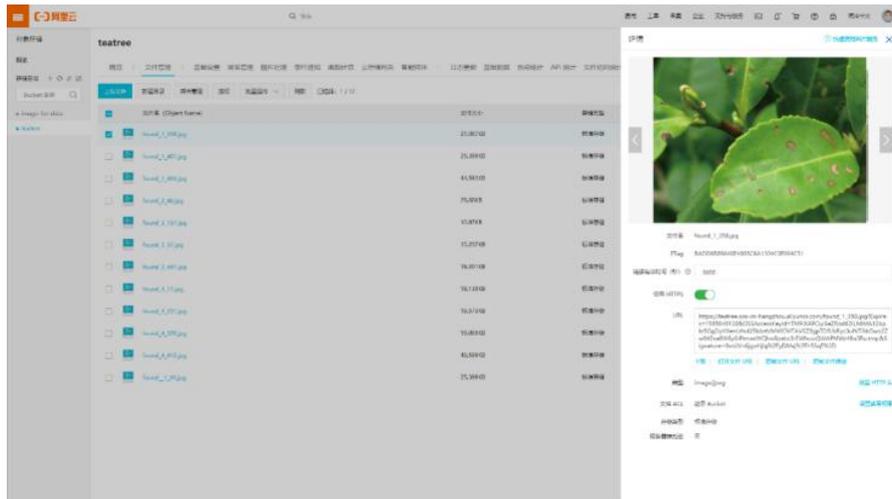


图 3-3 六安瓜片植物样例

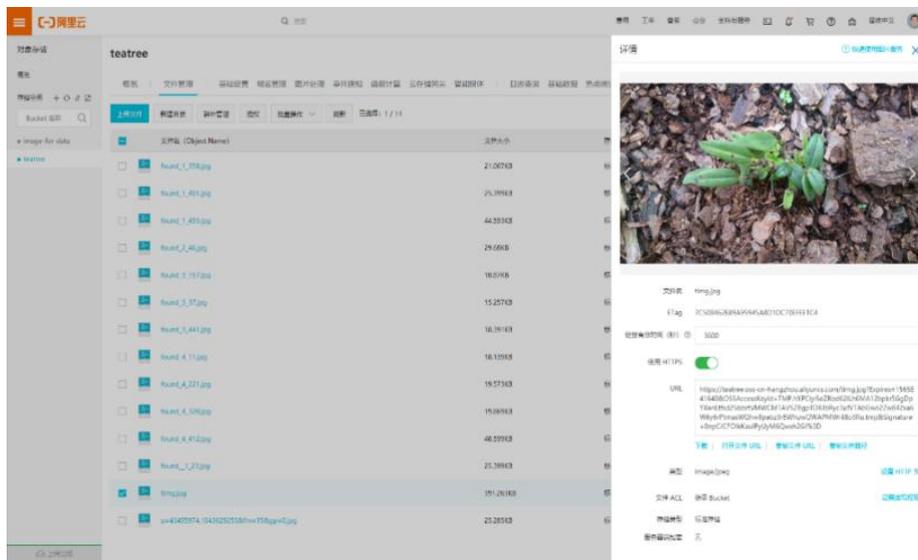


图 3-4 霍山石斛植物样例

导出图片 URL 可建立相应的数据库进行管理与访问如图 3-5、图 3-6 所示：

url
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/000f74d036a32b5afc286336e077e26e.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/000f74d036a32b5afc286336e077e26e.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00a349865fedfe8a249e090867083911.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00a349865fedfe8a249e090867083911.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00a90bbc-a12c-426d-bcc8-fadb371ea6d0">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00a90bbc-a12c-426d-bcc8-fadb371ea6d0</a> UMD_Powd.M%200358.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00b814ee-cfa9-489a-bed3-c1f927be05a">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00b814ee-cfa9-489a-bed3-c1f927be05a</a> YLCV_NREC%200220.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00d14470cb9b86e4387d49784124eb06.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00d14470cb9b86e4387d49784124eb06.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00d163b6-9dcc-4838-ac87-046970b9676e">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/00d163b6-9dcc-4838-ac87-046970b9676e</a> RS_HL%205677%201.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a02f9b47e8082558fa257092f0cedee.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a02f9b47e8082558fa257092f0cedee.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a11756326bd503d2a8653f828bc620.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a11756326bd503d2a8653f828bc620.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a1e2ed0-619c-43da-8c47-f800a252954">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a1e2ed0-619c-43da-8c47-f800a252954</a> UF_GRC_YLCV_Lab%2003060.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a2ce53d5ac699a183645ff2eb58dca8.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a2ce53d5ac699a183645ff2eb58dca8.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a3f65fc-ef1c-4aed-b235-4fbae4e5c0e7">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a3f65fc-ef1c-4aed-b235-4fbae4e5c0e7</a> GHILB2%20Leaf%209065.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a4fd67d786615190d63a0fe47d70646.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a4fd67d786615190d63a0fe47d70646.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a59259c-71e7-4d92-a232-d9d04e924aac">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a59259c-71e7-4d92-a232-d9d04e924aac</a> UF_GRC_YLCV_Lab%2001709.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a5f0d25-53a0-47d4-b3fa-984ec3b2a2fb">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a5f0d25-53a0-47d4-b3fa-984ec3b2a2fb</a> YLCV_GCREC%2005214.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a620811-30ba-42bf-ace2-8888d4db6dcd">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a620811-30ba-42bf-ace2-8888d4db6dcd</a> Rutg_Bact.S%201782.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a6385dd9521bd1a78a05a661fbeb31.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a6385dd9521bd1a78a05a661fbeb31.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a6a16343cae6ee1496e92a991d45e9.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a6a16343cae6ee1496e92a991d45e9.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a8ac3345835c4205ee5168b48e1d68e.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a8ac3345835c4205ee5168b48e1d68e.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a91407819919fd61924ed57e0f7cb3.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0a91407819919fd61924ed57e0f7cb3.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0ab105877b018cb1de22b1c3f319a2c6.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0ab105877b018cb1de22b1c3f319a2c6.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0ac15e78eab1dd89ecf7b7046ead2ce3.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0ac15e78eab1dd89ecf7b7046ead2ce3.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0ae5c8c7-af28-42b4-a312-efd080f76c1a">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0ae5c8c7-af28-42b4-a312-efd080f76c1a</a> YLCV_GCREC%205464.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0b00a1a8-b525-4392-bb6c-3fb7d824bee">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0b00a1a8-b525-4392-bb6c-3fb7d824bee</a> RS_HL%207904.JPG
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0b04ff732f41b03f310a0e0f67c2b969.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0b04ff732f41b03f310a0e0f67c2b969.jpg</a>
<a href="http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0b082a5e3c1203328f1a4962cdcb7153.jpg">http://image-for-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/data/0b082a5e3c1203328f1a4962cdcb7153.jpg</a>

图 3-5 数据库信息图

	A
1	object
2	data%2F00f74d036a32b5afc286336e077e26e.jpg
3	data%2F00a349865fedfe8a249e090867083911.jpg
4	data%2F00a90bbc-a12c-426d-bcc8-fadb371ea6d0 UMD_Powd_M%200358.JPG
5	data%2F00b814ee-cfa9-489a-bed3-c1f927bef05a YLCV_NREC%200220.JPG
6	data%2F00d14470cb9b86e4387d49784124eb06.jpg
7	data%2F00d163b6-9dcc-4838-ac87-046970b9676e RS_HL%205677%201.JPG
8	data%2F0a02f9b47e8082558fa257092f0cedee.jpg
9	data%2F0a11756326fbd503d2a8653f828bc620.jpg
10	data%2F0a1e2ed0-619c-43da-8c47-f8000a252954 UF_GRC_YLCV_Lab%2003060.JPG
11	data%2F0a2ce53d5ac699a183645ff2eb58dca8.jpg
12	data%2F0a3f65fc-ef1c-4aed-b235-46bae4e5c0e7 GHLB2%20Leaf%209065.JPG
13	data%2F0a4fd67d786615190d63a0fe47d70646.jpg
14	data%2F0a59259c-71e7-4d92-a232-d9d04e924aac UF_GRC_YLCV_Lab%2001709.JPG
15	data%2F0a5f0d25-53a0-47d4-b3fa-984ec3b2a2fb YLCV_GCREC%205214.JPG
16	data%2F0a620811-30ba-42bf-ace2-8888d4db6dcd Rutg_Bact_S%201782.JPG
17	data%2F0a6385dd9521bd1a78a05a661fbeb31.jpg
18	data%2F0a6a16343fcae6ee1496e92a991d45e9.jpg
19	data%2F0a8ac3345835c4205ee5168b48e1d68e.jpg
20	data%2F0a91407819919bfd61924ed57e0f7cb3.jpg
21	data%2F0ab105877b018cb1de22b1c3f319a2c6.jpg
22	data%2F0ac15e78eab1dd89ecf7b7046ead2ce3.jpg
23	data%2F0ae5c8c7-af28-42b4-a312-efd080f76c1a YLCV_GCREC%205464.JPG

图 3-6 数据库信息图

## 4 应用服务

我们开发的项目提供了四种服务，包括：温室控制、环境数据采集、病虫害报警、病虫害预警。

### 1. 温室控制服务：

该功能由天窗、侧窗、内遮阳、外遮阳、降温、通风、喷雾等设备实现。可实现中控端和移动设备端远程控制。

### 2. 环境数据采集：

分为大棚采集和大田采集两种方式。

1) 大棚数据采集：多路传感器，采集温湿度、光照、地温、二氧化碳、土壤温度、土壤水分、酸碱度、EC 值等环境信息，可旋转变焦摄像头，聚焦采集植物叶片图像。

2) 大田数据采集：室外气象站系统、无人机定期巡航数据采集。

### 3. 病虫害报警：

与传统的农业物联网有很大区别，传统的农业物联网有监控摄像头，也可以监控农业病虫害，但病虫害的发现依赖于视频后的农业专家依靠经验来进行判断。平台采用先进的深度学习学习机制，融合图像样本和对应的时间、温湿度、光照、土壤等环境变量的值，联合学习深度学习模型，取得了比单独特征学习更好的识别率。本平台提供“看图识病”功能，依靠人工智能新发展、新技术实现农业病虫害种类的自动识别，科技含量高，提高了农业智能化水平。采集到的石斛病虫害图片如图 4-1 所示。



图 4-1 石斛病害图

#### 4. 病虫害预警：

伴随着我们的项目不断成长，我们积累的特色植物病虫害图像样本和对应环境变量也逐渐增多。除了实时检测病虫害外，平台也提供了病虫害预警功能。根据当前一个时间段内的室内外环境样本状态，与历史数据对比学习，对未来极易发生的病虫害实现预警工作。随着公司积累数据量的大量增长，该预警系统的准确率正呈现逐步增长的趋势。

### 5 项目总结

我们所开发的项目很好地解决了智慧农业中的痛点问题，结合北斗导航系统开发了这套智能农业病虫害检测小车。我们所开发的作品在计算机视觉的病虫害检测上做出了重大突破。在未来，我们还会进一步得改善我们的项目和作品，使得新技术能够与智能农业不断结合，为病虫害的检测和预警做出我们的贡献。

#### 参考文献

- [1] 安胜.农机智能化和智慧农业应用的发展趋势探讨[J].农机使用与维修,2021(02):37-38.
- [2] 王莹.“互联网+”背景下我国智慧农业发展路径研究[J].物流科技,2021,44(02):131-134.
- [3] 杨迪焕.基于物联网的虫害测报系统的研制[D].浙江理工大学,2020.

---

# 基于北斗定位的智能行李箱设计

作者：田宇沃、姜磊

指导教师：李元龙

学校：沈阳航空航天大学

---

**【摘要】** 随着社会的不断进步，人们更加追求舒适方便的生活，人们出行过程中行李就成了一种累赘，在运输的过程中会使出行的质量降低，所以本文提出了一种基于北斗定位的智能行李箱设计。本设计以传统的行李箱为模型进行了优化以 STM32F103ZET6 芯片为控制系统，控制北斗定位模块，OpenMv 跟随设计，蓝牙模块，智能报警模块，电机驱动模块及智能避障模块协同工作，当主控器接收到开启指令后，通过摄像头从外界获取图像，以及 OpenCV 定位处理，追踪使用者，超声波模块对外界环境进行探测，对障碍做出规避反应，蓝牙模块与智能手机连接，远程操控行李箱，若蓝牙信号丢失，则智能报警模块发出警报。同时通过北斗定位功能可以很快地找到被托运的行李箱，方便人们使用，实现了行李箱的智能化。通过设计与控制使行李箱更加的稳定安全，并且更具有市场应用价。

**【关键词】** 北斗卫星，OpenCV，智能避障，远程控制

**【Abstract】** With the continuous progress of society, people pursue more comfortable and convenient life. Luggage has become a burden in the process of people's travel, which will reduce the quality of travel in the process of transportation. Therefore, this paper proposes an intelligent luggage design based on Beidou Positioning. This design takes the traditional trunk as the model to optimize, takes stm32f103zet6 chip as the control system, controls Beidou positioning module, openmv following design, Bluetooth module, intelligent alarm module, motor drive module and intelligent obstacle avoidance module to work together. When the main controller receives the opening command, it obtains the image from the outside through the camera, and opencv positioning processing, tracking use The Bluetooth module is connected with the smart phone to remotely control the trunk. If the Bluetooth signal is lost, the intelligent alarm module will give an alarm. At the same time, through the Beidou positioning function, we can quickly find the checked luggage, which is convenient for people to use and realizes the intelligent luggage. Through the design and control, the trunk is more stable and safe, and has more market application price.

**【Key words】** Beidou satellite, opencv, intelligent obstacle avoidance, remote control

---

## 1 研究背景及研究意义

随着我国科技的迅速发展，自动化越来越受重视，耕种各样的智能仪器都出现在了人们的身边，给人们的生活带来了不小的便利。行李箱是人们外出、远行时不可或缺的拖载工具。传统拉杆式托运行李箱一直不断强调其持久耐用的特性，在外观设计方面也都大同小异，没有特别突出的特性。在拖行过程中，

如果长时间的拖拽会导致手臂肌肉酸痛甚至可能拉伤肌肉，增加旅人的疲惫感，影响人们的出行质量。为了减轻人们的出行的压力，让行李箱更加的智能化，我们想到可以让行李箱脱离人力也可以被我们带走，那我们就让他自己行走自动跟随使用者。这样就解放了人的双手不仅可以腾出双手去做更重要的事，而且也减轻了人们在出行过程中行李箱给人们带来的疲惫感。

同时根据统计，每 200 件行李就有 1 件丢失，而行李被损坏、滞后等问题也难免会出现。可能是行李被偷了，或者行李忘了被送上飞机或错误的航班，还有可能就是行李箱的样式相似所以拿错了行李箱等等。如若丢失行李箱行李箱中的重要物品有可能难以找回，并且找回时间的也较长，在此过程中有可能会影响您的正常生活甚至给您造成巨大的损失。而本文提出智能行李的北斗定位功能，很好地避免了行李箱丢失事件。智能行李箱结构图如图 1 所示



图 1 智能行李箱结构图

## 2 系统总设计

本文提出的基于北斗定位智能行李箱设计，基于对传统的行李箱进行改造，从而实现行李箱的智能化，自动跟随，解放人的双手，使人们的生活更加便利。实现通过手机对行李箱进行远程控制，当行李箱与使用者距离超出范围时会发出警报，可以自动躲避障碍物，并且拥有智能定位和追踪的功能。极大地实现了行李箱的智能化，为出行的人们解决了行李箱的负担，减少一份出行的疲惫感。系统总设计图如图 2 所示。

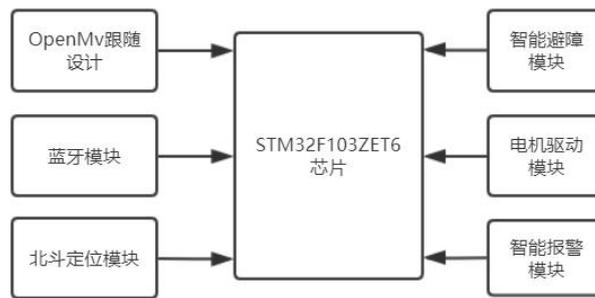


图 2 系统总设计图

### 3 硬件设计

#### 3.1 主控芯片

本设计以 STM32F103ZET6 芯片为主控系统，其基于高性能的 ArmCortex™-M3 32 位 RISC 设计。它作为系统的主要控制芯片，他通过 I/O 口与外围设置的装置进行连接，完成控制与接收其他模块的信息并对信息进行处理，相互配合完成所需设计。通过 I/O 引脚及控制电路，接收其他模块数据，进行数据处理并控制其他模块正常工作。内核的性能能够完全利用，极大地提升了执行控制算法的速度和代码效率。通过精确控制进行信息收集和处理，有效满足了智能跟随行李箱设计与开发的实际需求。STM32F103ZET6MUC 原理图如图 3 所示

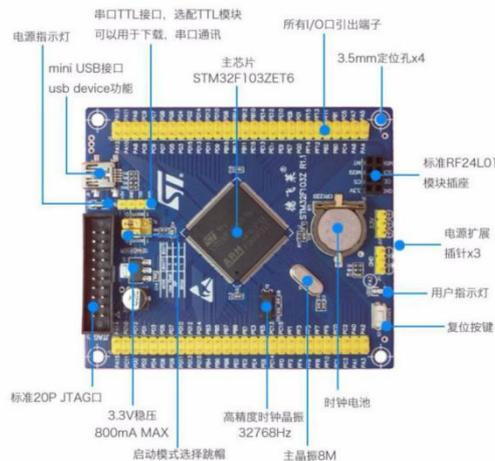


图 3 STM32F103ZET6 单片机原理图

#### 3.2 蓝牙通信模块

行李箱结合蓝牙通信模块通过互联网通信，实现了与行李箱的网络传输以及智能控制。蓝牙通信模块是智能跟随行李箱与手机 APP 交换数据的通道。该蓝牙模块支持多种智能中端匹配，是一种主从一体（通过 AT 指令设置）的蓝牙串口模块，体积小，支持波特率范围宽，兼容 3.3V/5V 单片机系统，所有功能通过 AT 指令设置，使用方便。通过手机的联网可以实现对行李箱的信息进行实时掌握，方便使用者更加清晰智能行李箱的功能及情况。蓝牙模块电路原理图如图 4 所示

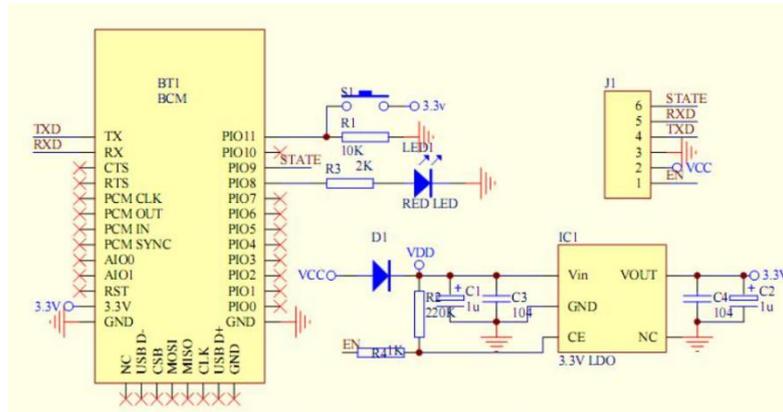


图 4 蓝牙模块电路原理图

### 3.3 北斗模块

#### 3.3.1 北斗模块工作原理

北斗模块的主要构成成为三颗卫星，我们通过三个球圆心模拟卫星的位置，球的半径模拟为三颗卫星到用户的距离。三个球必定相交于两个点。设三颗卫星模拟球体重叠相较于交点，球心到交点的距离也就是球的半径，分别为  $R_1, R_2, R_3$  三颗卫星发射信号的时刻分别为  $t_1, t_2, t_3$ ，三颗卫星的坐标位置为  $(X_1, Y_1, Z_1)$ ， $(X_2, Y_2, Z_2)$ ， $(X_3, Y_3, Z_3)$ ，接收机的坐标为  $(X, Y, Z)$ ，列出方程并对其进行求解，从而得出用户的位置。北斗模块工作原理图如图 3.3.1 所示

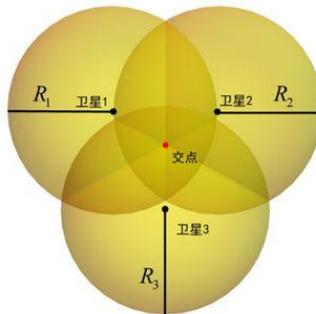


图 5 北斗模块工作原理图

#### 3.3.2 北斗模块性能

北斗杯模块有短报文通信功能，精密授时，定位精准，工作频率 2491.75MHz，具有高可靠的载波跟踪技术。在个人方面拥有导航的功能，不熟悉的地域指引你到达你想去的地方。在气象领域，可以促进气象部门对气象的检测，提高对防灾防难的性能。在道路管理方面，实时监测道路的拥堵情况以便舒缓交通堵塞。同时还应用于抗灾救援，当发生重大事故时现场的情况复杂，人力无法及时全面的了解灾难的详情，这时可以通过卫星导航装置对受灾情况，方便救援人员及时有效的救出被困人员减少伤亡，为就医争取宝贵的时间缩短救援搜寻时间，最大程度降低人民的生命财产损失。本文中北斗模块的主要应用于行李箱被托运的情况下，方便使用者迅速找到行李箱的位置。北斗模块电路原理图如图 3.3.2 所示

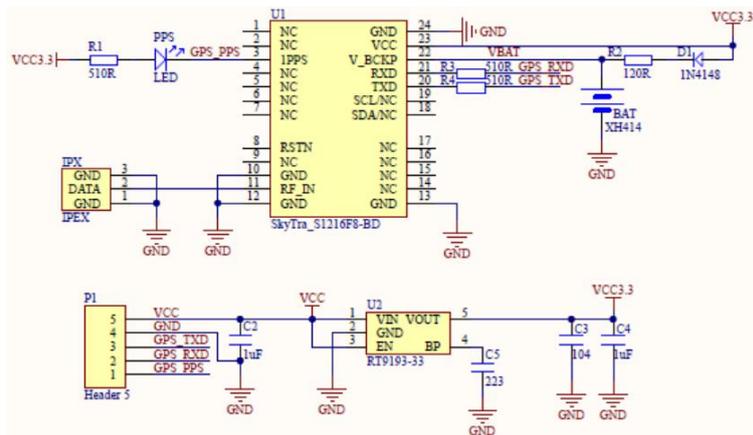


图 6 北斗模块电路原理图

### 3.4 智能报警装置

智能跟随行李箱配合智能报警装置，保证智能行李箱与使用者的距离在规定范围内，智能报警装置上安装有蜂鸣器，当定位到使用者的位置上与智能跟随行李箱的位置间距大于规定范围，则蜂鸣器会报警。蜂鸣器价格实惠，耐用性好，程序易懂，操作简单，内部含有振荡和驱动电路。蜂鸣器电路原理图如图 5 所示

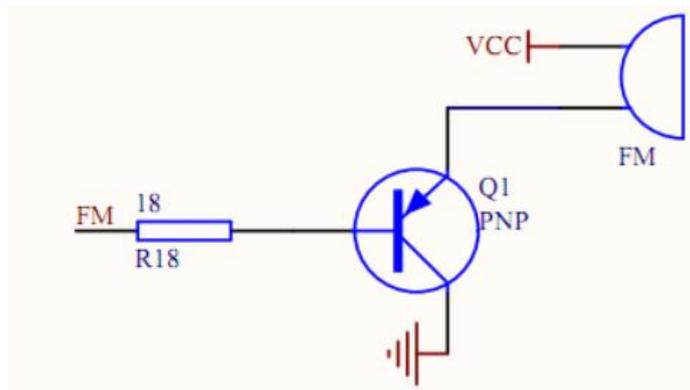


图 5 蜂鸣器电路原理图

### 3.5 智能避障模块

本设计应用了用了 HY-SRF05 超声波模块实现智能避障功能，HY-SRF05 超声波测距模块通过超声波发送与接收时间间隔来计算测量距离，测距精度极高，高达 3mm，并且不用接触即可以实现距离的测量，其中模块由超声波接收器、发射器与控制路组成。为保证行李箱安全行走，通过模块内部定时器计时，利用声波发射与接收之间的时间差，则通过  $distance=v*t/2$  计算距离，其中  $v$  为传播速度， $t$  为时间差。结合 Camshift 追踪算法计算出障碍物的距离，定位障碍物的位置，提前设计最优躲避路线。智能避障模块原理图如图 6 所示。

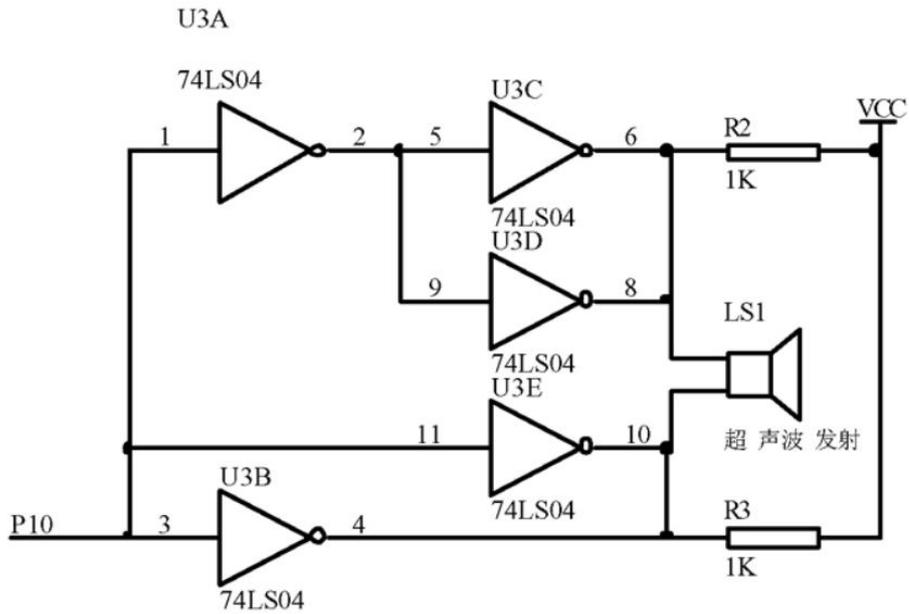


图 6 智能避障模块原理图

### 3.6 电机驱动模块

本设计选用 L298N 电机驱动模块来控制智能行李箱的跟随速度。通过对直流减速电机的驱动，通过 PID 算法对电机电驱电压通断进行控制,从而输入一个电压的脉冲信号，其中电压以 T 为一个周期，同时一个周期内电压的导通时间为 t，电机两端的电压为  $U=VCC * (t/T)$ ，其中 (t/T) 为占空比，通过对电机两端的电压控制电机两端的转速，同时通过控制脉冲的占空比控制电机两端的电压，有公式可得占空比越大，电机转的越快，通过改变 I/O 口输入，从而控制电机的转速和转向，实现智能行走。电机驱动电路原理图如图 7 所示

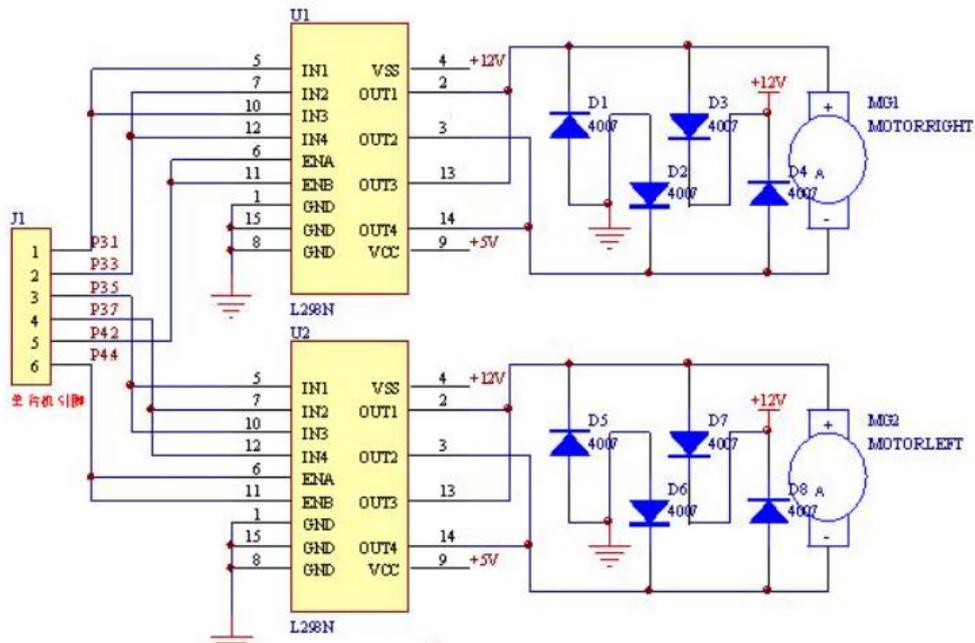


图 7 电机驱动电路原理图

## 4 软件设计

### 4.1 图像预处理

本设计通过摄像头获取外部追踪控制的基础图像数据流，并将图像数据传输到 STM32F103ZET6 主控芯片，图像会受到光线，噪音，镜头等一些外界因素的影响，通过预处理降低图像中不相关的信息，突出有用的信息，使图像数据更加精准有利于提取有效信息，主要包括平滑处理，图像增强，边缘的提取。平滑处理的作用是使图像更加清楚，排除与主要信息无关的信息，但不改变主要信息。图像增强就是灰度处理，也就是将图片中的彩色转换成灰色，从而实现灰度处理。图像边缘提取就是又是图片的边缘会有重要的信息这时就需要在图片的边缘提取信息使数据更加严谨。图像预处理流程图如图 8 所示

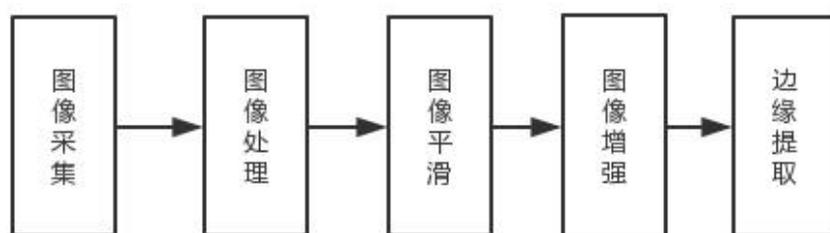


图 8 图像预处理流程图

### 4.2 OpenCV 定位追踪

对于目标的定位和追踪通过 OpenCV 的定位结合算法实现，对处理后的图像数据利用 Camshift 追踪算法，通过获取运动物体的颜色特征信息，并根据目标物体的大小变化，通过自动监测实现对目标区域的扩大与减小，同时在检测过程中，图像的色彩饱和度不会产生差异，所以具有很好的鲁棒性。Camshift 追踪算法是一种优化的 Mean Shift 算法，但是需要 Mean Shift 算法对每一帧图像进行处理，通过传统的模式识别程序，分析图像的特征空间和聚类的方法来达到分割的目的，寻找最优迭代结果，实现自动调整窗口大小。从而计算出所追踪目标位置的观测值，并返回结果。若追踪过程中出现色彩干扰或障碍物遮挡时，则利用卡尔曼滤波器，通 Camshift 追踪算法前一观测值，生成追踪目标位置以及障碍物的估计值，并将估计值作为新观测值返回。通过识别图像中的色彩信息进行跟踪，但是存在一种情况就是当色彩对比不明显或者图像中没有显示追踪目标时，Camshift 会将这部分图像包含在内，并且自动不断地扩大窗口，有时在整个的视频图像中都追踪不到目标时，就会导致追踪的不准确，连续跟踪下去造成目标的丢失。最终获取的图像计算机能很好进行精确追踪并实现精准实时跟随控制的实现，从而使装置能够实时检测到目标物体并对其进行定位。OpenCV 运动目标追踪算法流程图如图 9 所示

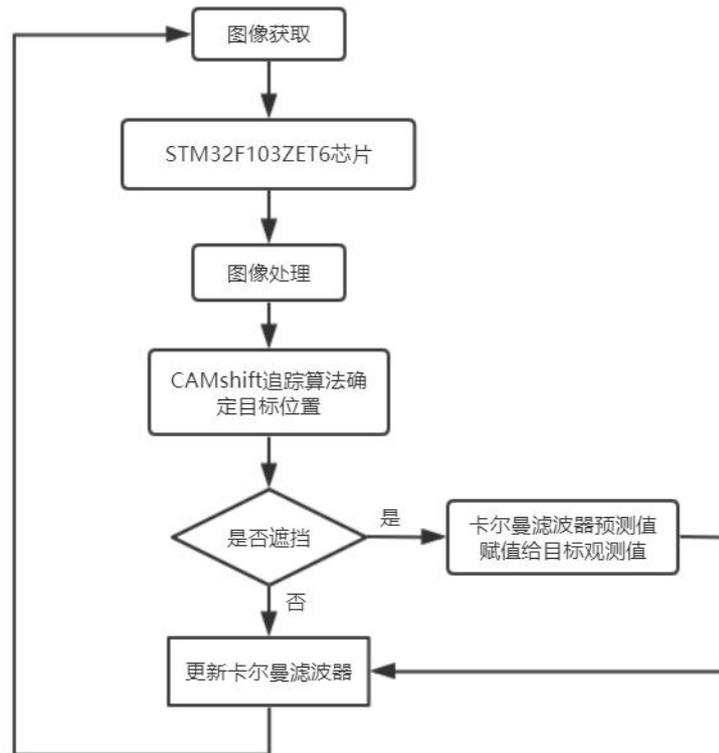


图 9 OpenCV 运动目标追踪算法流程图

## 5 调试分析

在测试过程中，装置与目标距离大于 50cm 时，就会加速到距离小于 50cm 时会停止加速保持在原地。同时当目标与装置的距离大于 3m 时就会发出警报，提示使用者达到了跟随功能。智能跟随行李箱实物图如图 10 所示。



图 10 智能跟随行李箱实物图

针对避障功能进行测试，当行李箱检测到前进的方向有静止障碍物时，向左、向右转动，避开障碍物，且再次检测是否还存在障碍物，如果有则再次避障。在此期间，摄像头实时捕捉用户图像，避障完成后立即跟随用户前进。智能避障测试路线如图 11 所示

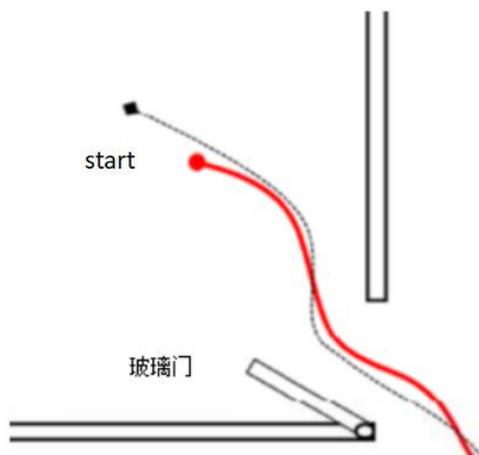


图 11 智能避障测试路线

针对定位功能进行测试，移动通讯装置可以对行李箱的准确位置进行查看，在手机客户端可通过已标定四个固定位置具体确定使用者本身的位置以及行李箱在你的方位坐标。并且可以计算出两点之间的距离。行李箱定位图如图 12 所示

### 终端（智能手机）侧定位

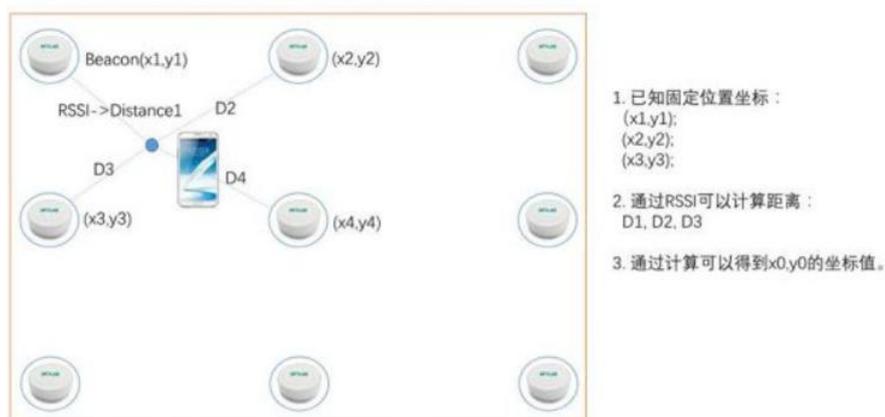


图 12 行李箱定位图

## 6 创新点设计

- (1) 蓝牙通信功能：蓝牙与智能手机连接远程控制行李箱智能行走。
- (2) 智能避障功能：利用超声波模块对外界环境进行探测，对障碍做出规避反应。
- (3) 智能报警功能：若智能行李箱与使用者的距离超过预定范围内，蓝牙信号丢失，智能报警模块就会发出警报。
- (4) 跟随设计：OpenCV 跟随设计依靠 Camshift 追踪算法和 Mean Shift 算法对使用者进行追踪跟随。

---

(5) 定位设计：基于北斗定位模块对行李箱进行定位，防止在运输的过程中发生丢失。

## 7 结语

本文提出了一种基于北斗定位和 OpenCV 的智能行李箱设计，以 STM32F103ZET6 芯片为控制系统，控制北斗定位模块，OpenMv 跟随设计，蓝牙模块，智能报警模块，电机驱动模块及智能避障模块。实现了行李箱跟随，定位，警报，避障以及与手机连接等功能，使行李箱更加智能化，为人们的出行增加一份便利。

---

# 基于北斗系统实现汽车“呼之即来，召之既回”的智能出行

作者：陈乐、修唯凯

指导教师：李居尚、张强

学校：长春理工大学光电信息学院

---

**【摘要】**：所谓智能汽车，便是在传统汽车的基础上增添了传感器、控制器、执行器等设置。通过智能信息交换。让车辆拥有敏锐的环境感应能力，实现主动分析汽车运行中的一些安全和危险状态。而且还可以让车辆遵循人的命令到达目标地点，从而可以实现代替人来操纵的目的。智能汽车感应和高精准地图采集的重要技术基础是北斗系统的高精准度定位。显而易见，北斗系统在智能汽车的发展中有着非常重要的作用。同时，随着 5G 技术的快速发展。北斗系统和 5G 网络技术的联手合作，可以形成高级精准度的定位系统。并且可以实现厘米级精准定位。在当今这个“车满为患”的时代，车辆堵塞情况也是特别常见，尤其是在晚高峰与早高峰期间。针对此现象我们可以利用北斗定位和导航功能，5G 网络，智能驾驶系统的结合。来实现无人智能驾驶。用户可以在出行前用手机来“呼叫汽车”从而减少出行所需时间，减轻堵车现象实现智能出行。

**【关键词】**：北斗+5G；智能出行；呼叫汽车

**【Abstract】** the so-called smart cars, that is, on the basis of ordinary cars increased advanced sensor, controller, actuator device, such as through the smart information exchange, the vehicle with intelligent environmental awareness, can automatically analyze the safety of the vehicle and dangerous state, and makes the vehicle reached their destination, according to people will eventually replace the human to the purpose of the operation. Beidou high-precision positioning is the key basic technology of intelligent vehicle perception and high-precision map acquisition. It can be said that Beidou plays an important role in the development of intelligent vehicle. At the same time, with the rapid development of 5G technology, 5G+ Beidou have joined forces to build a high-precision positioning system, which can connect and form a Beidou ground reference station network through 5G network to achieve centimeter-level precision positioning. In today's "overcrowded" age, congestion is also very common, especially during the evening and morning rush hours. For this phenomenon, we can use the combination of Beidou positioning and navigation functions, 5G network and intelligent driving system. To achieve unmanned intelligent driving. Users can use their mobile phones to "call a car" before going out, so as to reduce the travel time, reduce traffic jams and realize intelligent travel.

**【Key words】** Beidou +5G; Intelligent travel; All car

---

## 1 前言

智能汽车一个集环境感应、自主规划、高级的辅助驾驶等一系列的功能于一体的智能系统。它大量运用了计算机、现代传感、信息融合、通讯、人工智能和自动控制等技术,是典型的高新技术综合体<sup>[1]</sup>。当智能车辆与北斗系统相

结合时会使无人驾驶，自主泊车，车联网相融合，从而实现汽车的“呼之即来，召之即回”的智能出行。

## 2 车联网

车联网系统就是指运用先进的传感技术、网络技术、计算技术、控制技术、智能技术，对道路和交通进行全方位的感应。从而可以实现多个系统间大范围、大容量数据的交流互动，对每一辆汽车进行实时的运行全程监控<sup>[2]</sup>。

在万物互联的时代，一部手机，一个 app 便可操控一些智能产物。那么放在汽车上也是一样可以行得通的。有了北斗系统的加持，不管身在何方我们都可以实时的查看汽车所在位置<sup>[3]</sup>。并且我们还可以从手机上获取到达目的地路线并下发给汽车。使汽车根据路线自主行驶。从而实现自主接送用户的目的。再加上一些辅助设施我们便可达到手机“一键控制”汽车的应用了。



图 1 App 车联网系统图

## 3 无人驾驶

无人驾驶汽车是根据车载感应系统，感应道路状况<sup>[4]</sup>。自主设计运行路线并且操纵汽车到达预定目的地的智能汽车。无人驾驶技术是运用车载传感器来感应汽车周围状况，并通过感应所得到的道路、汽车位置和障碍物信息，进而操控汽车的转向和速度，以实现汽车可以安全的在道路上行驶。

结合北斗系统和车联网，我们可以使无人驾驶更加智能一些。举个例子，用户可以通过手机来一键叫回汽车，来主人所在地接主人。具体操作如下，主人使用手机查看汽车所在地然后发起位置共享，一键启动自动驾驶模式，途中主人可以通过手机来监视汽车所经路径，并可操控汽车运行状态。为了节省时间，主人可提前发起位置共享，通过云端根据路况实际情况计算出汽车到达时所需时间。提前进行一键叫回汽车，此时，便可减少主人的时间成本<sup>[5]</sup>。此功能能为人们的出行提供便利，而且可以通过个人出行时间不同并且个人出行所需时间成本的减小，来形成错峰出行，以缓解交通堵车的社会现象。并且，用户在平日出行时，可通过手机联网语音播报了解将要所去地点所经道路交通情况。通过云端大数据分析反馈给用户一条合适的道路。另外，如果一个地方发生了交通事故，交警或是人民群众都可第一时间通过手机，定位事故地点并报警。通过北斗系统检测定位，将事故地点反馈给数据库，经过处理，通知给

广大用户避开事故地点，保护事故现场并避免二次事故。此功能可为人们出行提供方便。也可维护交通秩序和保护人们生命安全<sup>[6]</sup>。

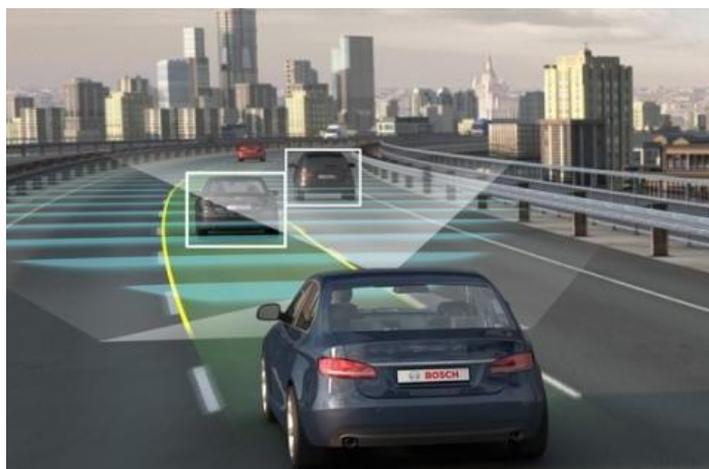


图2 无人驾驶汽车展示图

## 4 自主泊车

自主泊车系统主要是利用遍布汽车自身的传感器。测量汽车自身与周边物体之间的相对距离、速度和角度。然后通过云计算平台计算出操作流程。并且操控汽车的转向和加减速，从而可以实现自主泊入、泊出及部分行驶功能。

泊车过程大致分为五大环节：环境感应停车位检测与识别泊车路径规划泊车路径跟随控制模拟显示。根据泊车方式，分为三种模式，平行式泊车 垂直式泊车 斜列式泊车<sup>[7]</sup>。

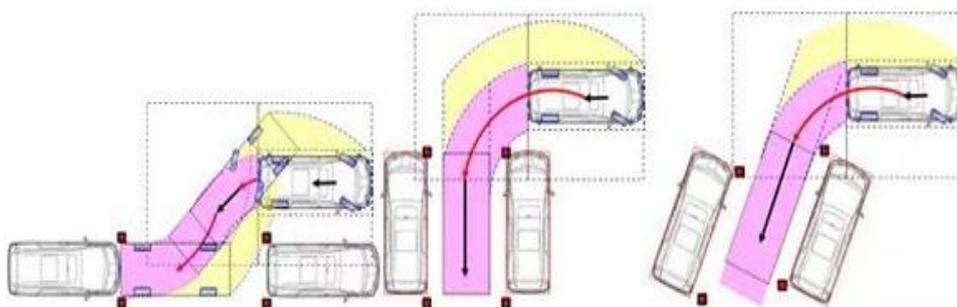


图3 泊车方式图

当自主泊车与北斗系统和车联网以及无人驾驶相结合，我们便可以通过手机来控制车辆。举个例子，可以通过北斗定位监测系统来确定主人身边的停车位，主人需要通过手机预订好停车位（此停车位的位置可由主人自己选择，停车效果不受停车位置的影响），并一键启动自动停车，汽车便可自动按照所预订的车位进行停车。过程中主人可以通过手机观看停车过程，并可施加操作。此功能可实现减少当前车位不够用时，寻找车位所耗时间，也可实现规律停车，减轻道路停车不规范的现象，维护道路安全。

## 5 技术融合问题

通过以上三种功能，再加上北斗系统以及 5G 网络我们完全可以将其融为一体，实现集无人驾驶，自主泊车，车联网于一部手机或是一个 app 上，让我

们的车辆更加智能，真正的实现“一键出行”但是融合过程中需要加强一些关键点。

### 5.1 网络质量

在车辆行驶中可谓是瞬息万变，此时网络的质量变得尤为重要。所以我们必须将 5G 网络应用在车辆上。必要情况下我们还可以建造车辆专用 5G 基站，避免网络拥堵和网络延迟的问题。

### 5.2 车辆感应

车辆中运行中它的感应功能也是至关重要的，所以车身雷达以及摄像头也都得全方位布置。

表 1 车内传感器说明

传感器	数量	布置位置
前向单目视觉	1	前挡风玻璃后视镜附近
前向毫米波雷达	1	前保进气格栅中心位置
后侧向毫米波雷达	2	车辆后保左右两端处
超声波雷达UPA探头	8	车前后保各四个，参照倒车雷达布置
超声波雷达APA探头	4	车辆前后保侧方
环视摄像头	4	左右后视镜下侧，前保中央，后备箱把手附近

### 5.3 熄火后的再启动问题

在我们日常开车中车熄火是一个常见的问题。我们驾驶员面对熄火这种情况可以重新启动车辆。但是如果汽车在自主行驶中熄火后汽车停止运行，汽车变为断网“孤立”状态。遇到此情况怎么办呢？

我们在设计之初，便可设计一块太阳能板位于车顶。平时出行时，太阳能板只进行储能作用，不进行供能。当车辆熄火时自动启动太阳能供能，车辆再次进入联网状态并继续运行。此时太阳能板恢复储能，不再供能。

此功能也可为我们启动汽车时带来方便。只需要在手机上点击启动，太阳能板供能启动，使汽车进入联网状态。然后自动驾驶来用户所在地接用户。我们不再需要去找车并启动它。大大节省我们出行时间，并且也更加方便。

## 6 总结

本文围绕汽车的无人驾驶和车联网以及自主泊车的融合展开讨论。前半部份分别讨论了无人驾驶，自主泊车，车联网与北斗加持后的功能及价值体现。

后半部份讨论了三位一体的融合中所要注意的问题及情况。在实际研究中，应该沿着这些问题进行更加深层次的探讨及研究。相信通过广大专业人士不断的研究及实验，会使智能出行更加贴切的融入我们的生活。

不久的将来，“呼之即来，召之即回”的智能出行会实实在在的出现在我们的生活中。并且，我们的北斗系统也将应用更加广泛，作为当代大学生，我们也将见证着我们祖国的繁荣复兴与强大！

---

### 参考文献

- [1] 未来如何乘坐无人驾驶汽车[J]. 今日科技 2017 年 6 期.
- [2] 张羽英, 王超, 杜忠明. 自动泊车方案的设计[J]. 兵工自动化 2019 年 01 期.
- [3] 陈维, 李源, 刘玮. 车联网产业进展及关键技术分析[J]. 中兴通讯技术网络首发.
- [4] 刘奇. 车载手机 APP 与汽车控制系统的互联应用研究[J]. 科技传播 2015 年 17 期.
- [5] 吴春风. 太阳能技术在汽车新能源领域的应用[J]. 科技风 2020 年 14 期.
- [6] 胡蓝月. 北斗系统:智能汽车的“眼睛”[N]. 中国航天报 2020 年 03 月 21 日.
- [7] 李胜超. 智能汽车总体发展认知[J]. 汽车工程师 2019 年 11 期.

---

# 基于北斗导航系统的视障人群智能眼镜

作者：周浩轩、刘晓童、李静

指导教师：赵月高、宋仁旺

学校：太原科技大学

## 1 项目简介

### 1.1 项目背景

互联网的普及给人们的生活带来了极大的便利。特别是近年来，随着移动互联网的快速发展，智能手机已经成为人们上网的主要渠道之一。但与此同时，看电视连续剧、网上购物、手机导航……这些老百姓想当然，但对于视障人士来说，障碍重重。统一标准，在互联网特别是移动互联网上铺设“盲道”，方便视障人士的生活，刻不容缓。

中国残联的统计数据显示，2016年，中国视障人口达到1731万人，占总人口的1.26%，这意味着每百名中国人中就有一名视障人士。盲道作为我国较早建成的城市残疾人出行的主要设施，已得到广泛普及，同时，根据有关报告显示，只有40%的行业可以使用无障碍设施，满意度为70分。除此之外，最近几年，城市无障碍设施被占用、被破坏、被人为设置障碍的现象屡见不鲜，说明建设无障碍城市还有很长的路要走。

令人欣慰的是，自3月1日起，《信息技术互联网内容无障碍访问技术要求 and 测试方法》正式实施。该标准由中国残联和浙江大学联合制定，历时三年。编制单位由4家扩大到14家，涵盖国内高校、科研机构、用户群体代表和互联网公司。该标准代号为GB/T37668-2019，由中国标准化委员会批准，是中国互联网无障碍领域的首个国家标准，将帮助特殊人群在日常生活中使用互联网。

各种各样的问题并不少见。有了这个国家标准，我们可以用明确的技术要求来规范互联网产品和服务。例如，针对屏幕阅读功能，新国标建议提供语音验证码，增加准确页面标题、文字代替图片、视频字幕等的语义描述，确保视障人士无障碍上网。

研究表明，人类获得的信息中有83%来自视觉，超过10%来自听觉。可想而知，互联网的彻底“盲道”对视障群体意义重大。

“无障碍信息建设是科技与公益的深度融合和碰撞。产生的火花不仅会激励科研人员，也会给视障人士带来‘光’”，“据统计，截至2019年底，中国已有40多家互联网企业设立了负责企业产品信息无障碍的部门。

2008年修订通过的《中国残疾人保护法》，2012年国务院颁布的《无障碍环境建设条例》，以及中国残联、国务院发布的《关于加强网站无障碍服务建设的指导意见》中国网络空间局2016年对互联网无障碍建设都提出了明确要求。专家认为，近年来我国信息无障碍在法律法规、标准、规范、关键技术及示范应用、人才培养等方面取得较大进展，互联网无障碍提升服务能力也得到了一定提升，特殊人群接入互联网内容等方面有所提高。但是视障人士网络无障碍服务仍面临诸多技术问题，需要不断创新和发展。

---

## 1.2 项目概述

基于北斗导航系统的视障人群智能眼镜，我们简称其为光明之眼，是利用传感技术、5G技术、摄像头捕捉动画与语音输入相结合，将视觉巧妙地转化为触觉，可检测到使用者前方物体同时转化为震动传送至使用者佩戴的“光明之眼”眼镜。这款眼镜在使用时通过语音输入目的地，之后使用内嵌北斗芯片，为视障人群提供导航路线，通过摄像头捕捉的路面情况，将使用者引导到正确的道路。并在其需要转弯或者遇到障碍的时候通过传达至眼镜不同区域的震动来提醒使用者障碍方向或者转弯方向，而且设计了不同振动频率，以提醒使用者障碍物的距离，利用触觉来检测眼前的危险，从而解放了视觉受损之人最重要的听觉器官，并且有效的提升了使用者的安全系数。

## 1.3 项目客户群

光明之眼项目建立之初是为了帮助视障人群摆脱烦恼，让他们的生活以及出行更加便捷与安全；其延伸板块“无障碍阅读”则是让视障人群可以像正常人一样阅读书籍。

## 2 项目创新点

- 1.结合了时下最新且最有发展前景的传感技术与5G技术。
- 2.“光明之眼”眼镜使用内嵌北斗芯片，为视障人群提供导航路线。
- 3.镜腿的脚套改装成为骨传导耳机，它可以通过耳后的软骨传递声音，提供最佳的低音响应和音量。可以让耳朵保持打开状态，听语音的同时也可以聆听外界的声音。
- 4.设置“一键求助”按钮，遇到突发情况时候，能及时将自身位置发送给相关人员。
- 5.该款产品的设计与传统的辅助医疗产品不同，通过将目前流行的健康可佩戴产品，如触感柔软的聚碳酸酯材料与明亮的色彩相结合。
- 6.通过摄像头捕捉，将书本上的内容进行扫描，之后转化为语音，在改造的骨传导耳机上进行播放，让视障人群可以自由阅读。
- 7.线上线下销售相结合，为视障人群提供便利。
- 8.基于视障群体的特殊性，我们建议由政府或者第三方慈善组织，为视障人士提供光明之眼免费的使用和维护保养等费用，公司盈利资金纳入产品的后续研发和完善环节。

## 3 功能介绍

### 光明之路

为视障人群提供导航路线，在其需要转弯或者遇到障碍物的时候通过传达至眼镜不同方向的震动来提醒使用者（障碍物的距离可由震动频率体现，更加安全可靠），并由骨传导耳机提示使用者实时情况。

### 无障碍阅读

通过摄像头捕捉，将书本上的内容进行扫描，之后转化为语音，在改造的骨传导耳机上进行播放，让视障人群可以自由阅读。

### 一键求助

当使用者遇到一些困难或者需要求助的时候，可以按“求助按钮”，内嵌北斗芯片会自动地将使用者所在位置发送到使用者设置的求助人并且拨打110。

### 在线留言

用户可以通过在线留言，给我们提出意见，或者线下交流。方便我们做得更好，也方便激励我们的服务更加完善。

### 关于我们

致力于为视障人群摆脱由视觉困难带来的生活不便，让他们可以像正常人一样出行与生活。

## 4 可行性分析

### 4.1 市场现状分析及投资必要性

该项目是以可穿戴设备为基础的，视障眼镜利用视像头来捕捉外界状况，来帮助视障人士了解世界的信息，并用红外传感器探测障碍物反馈给用户，并在障碍物越来越近时发出振动，可以辅助视障人士避开障碍，识别物体的相对位置，确认自身位置，为视障人士提供有效的视觉辅助功能，帮助视障人士更好的像正常人一样生活。



图 1

如图 1 所示，2016 年，全球可穿戴设备出货量为 2.688 亿台。据估计，全球可穿戴设备将在 2017 年增长 16.7%，总销量将达到 3137 万辆，全球总营收为 305 亿美元，据估计，到 2021 年，5.05 亿年可穿戴设备将成为世界上销售。专家指出，随着可穿戴设备行业从 1.0 走向 2.0，脱离手机的独立使用和场景开发已成为不可逆转的趋势。一方面，用户的消费理念与之前大不相同，越来越成熟，可穿戴设备的定位已经不再是“手机的配件”，而是希望可穿戴设备拥有独立的通信模块，可以独立于手机等设备使用，而我们这款产品就是基于北斗卫星，将其内置于智能眼镜中，有效脱离手机。

从市场需求来看，中国有超过 1000 万视障人士，其中 23.5% 的视障人士年龄在 30 岁以下。

如图 2.3 所示，视障人士对事物的认知层面有着层层障碍，这些视障人士缺少对外界的视觉感知，到目前为止，70% 的视障者出门需要陪同，而另外的 30% 的视障者选择了不出门。出行成了生活中最大的障碍，出行不便，经常摔倒、受伤是困扰着这些弱势群体的主要问题。

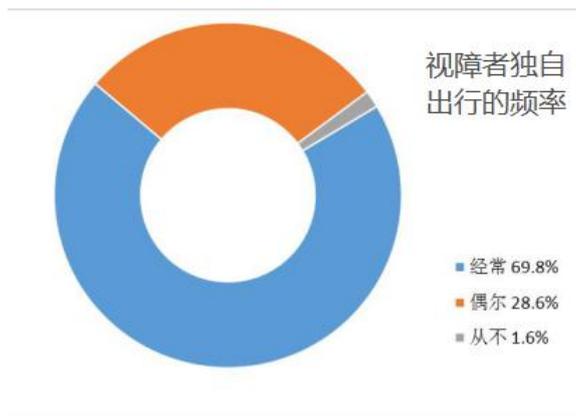
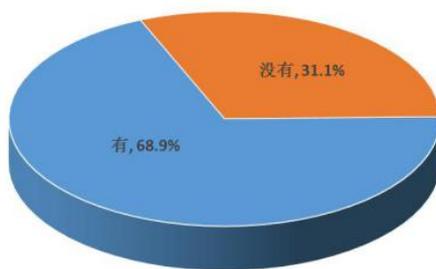


图 2



外出时是否受过伤

图 3

另一方面，日常中很多互联网产品的实际由于过度依赖界面的操作，导致无法满足视障用户的使用需求。但通过视障眼镜可以让他们享受出行的便捷和移动互联网的便利。

#### 4.2 技术可行性

国内市场：

2019年6月4日，工信部正式宣布，中国将在不久的将来发放5G商用许可证，中国正式进入5G时代。5G的真正意义在于开启物联网时代。5G商用产品也将突破以往的智能可穿戴设备，更多的人工智能产品将进入公众视野，成为生活的标准配置。未来，5G将与物联网发生碰撞。可穿戴设备将迅速普及，成为物联网的重要入口和应用终端。5G技术的低延迟、高速度将为可穿戴产品带来更高的技术支持。

国外市场：

国外可穿戴市场相对繁荣，各大公司纷纷推出自己的智能可穿戴设备。目前，产品已以多种形式推出，其中主流产品形式包括：智能手镯、智能腕带、智能手表等手部产品；智能眼睛、智能头饰、智能头盔等头部产品；智能服装、智能鞋、智能配饰等产品。比如苹果的iWatch、蓝牙耳机、谷歌眼镜。谷歌眼镜本质上是微型投影仪+摄像头+传感器+存储传输+控制装置的组合。它集眼镜、智能手机和摄像机于一体，使用电脑镜头以智能手机的形式实时呈现信息。此外，它还是一个生活助手，可以为我们提供北斗导航、收发短信、摄影、网页浏览等功能。

---

### 4.3 竞争优势

相比其他传统的视障产品只有一个简单的反馈系统，视障眼镜一方面可以通过摄像头获取外界，然后通过语音反馈给用户，它还可以让用户通过传感器感知障碍物，因为对于视障者来说，即使生活中从来没有什么是我们关注的一些细节，也会给他们带来很大的障碍。我们的产品可以让他们感受到楼梯台阶边缘的颜色，地铁车厢电子报站屏的文字和背景色，公共卫生间的水龙头开关等。这种藏在小地方的发现，也能让他们感受到世界的美好。

另一方面，互联网的普及让我们感受到了它的便利，但视障人士却无法享受这些功能。他们只能被手机平滑的屏幕切断，但眼镜可以帮助他们了解屏幕下的内容，这样他们也可以听收音机、看电子书、点外卖等等。它为视障者探索学习、就业和生活提供了更多的可能性，也可能重塑社会对视障群体的认知。

## 5 宣传方式

### 5.1 推广策略

---

渠道

---

	通过抖音宣传
	通过论坛、贴吧推广
线上推广	微博推广
	微信推广
	软文推广
渠道推广策略	通过广告方式推广
	发传单
	做海报
线下推广	做地推
	做演讲
	做活动

---

(1) 论坛推广：

首先，你应该熟悉论坛的使用和论坛的模式。你可以通过朋友私信、空间留言、邀请朋友参与、评论、建设等方式来炒作论坛。

(2) 软文推广：

相对于硬广告，软推是一种通过文字表达的方式对自己品牌的宣传，其中有图片和文字说明，可以更清晰的向消费者表达其含义，是一种很好的品牌推广形式。

(3) 广告推广：

做视频，通过简短的视频介绍把自己的品牌传播给大众。

(4) 微信推广：

通过大规模推广的形式，目标客户可以发布大量的广告信息、活动信息等，也可以通过朋友圈的形式，大大节省了时间，提高了工作效率。

- 
- (5) 微博推广：  
大量的浏览量，通过这种形式的推广，可以让更多的人了解这个软件。
  - (6) Tiktok 推广：  
Tiktok 是年轻人最流行的时尚视频软件。它广泛应用于抖音，成本低。
  - (7) 传单：  
直接面向目标群体，成本低。
  - (8) 制作海报：  
制作方便，可贴在商场、学校等人群聚集的地方。
  - (9) 演讲：  
简洁明了，让客户通过直接接触体验，提高自己软件的可信度。
  - (10) 活动：  
让消费者参与其中，让消费者获利，提高软件的知名度。

## 5.2 宣传策略

视频宣传：在抖音里宣传，与腾讯、爱奇艺等视频合作，以广告的形式推广

WAP 宣传：与 WAP 门户进行网站合作，相互进行广告推广

群发宣传：在微博、QQ 群、微信群、以及邮箱中发送有关 APP 的信息

注：(WAP:一种无线应用协议，全球性网络通信协议)

## 5.3 营销方式

### 5.3.1 推式策略

我公司的推送策略主要是以推动公司主体项目为高校合作方式，与这些合作伙伴在“项目推广公共平台”上寻找相关人员，为我们提供更充分的体验和产  
品，并让人们充分了解我们的产品和服务，认可我们的产品和服务，实现相互  
合作的目标。推盘策略风险小，营销周期短，资金回笼快，但前提是必须有中  
间商的共识和配合。

### 5.3.2 拉式策略

本公司针对急需兼职、创业的人群展开广告攻势，把产品信息介绍给目标  
市场的消费者，使其产生强烈的购买欲望，形成急切的市场需求，然后“拉引”  
中间商纷纷要求经销这种产品，或者投资这个项目。

### 5.3.3 推拉结合策略

在通常情况下,本公司也可以把上述两种策略配合起来运用,在向中间商进  
行大力促销的同时,通过广告刺激市场需求。

## 6 盈利模式

### 1. 财务预算

- 1) 想要做好一个智能眼镜就得全面考虑，开发人员的工资，开发时长。
- 2) 前期宣传广告设计以及代言人经费。
- 3) 产品材料成本以及后期维护费用。

### 2. 成本预估

由于智能眼镜的产品设计一直在变化，比如接口的更替，每个月都会发布  
一次 ROM，这就意味着上个月开发的产品功能，在这个月会推倒了重来。而  
且这个现象在行业内表现突出，最近稳定了很多。这对应用开发者来说是最大  
的成本总体来说，国内开发一款智能眼镜的费用还是蛮高的，只有当这个市场  
慢慢普及开来，人力成本开始减少，供需平衡后，费用才会降下来。

---

具体包括：

设计，调研：100 万

研发经费：500 万

其他：公司将采取科学的固定资产折旧摊销政策，参考税法规定，参照行业水平，针对公司自身特点，确定合理的折旧方法、固定资产残值以及折旧年限，即采用直线法计提折旧。

对于行政办公用品，例如电脑、电话、打印机等折旧年限为 5 年。残值比例为 5%。

存货控制采用月末一次加权平均法计量。

为了保持理想的资本结构，使加权平均资本成本最低可以实现企业价值的长期最大化，以及树立良好的社会形象，提高公司在股民心中的地位，给股东以最大的安全感，公司将采用低正常股利加额外股利政策。

应收账款的 75%于本季度收回，剩下的 25%于下一季度收回，坏账准备按当即应收账款发生额的 1%计提。

无形资产折旧年限尚不确定，因此暂不计提折旧

### 3.盈利方式

1) 流量口费用以及线下平台使用。

2) 收费标准按照顾客所需功能来评定，所需功能越多，开发难度越大，收费越高。

3) “光明之眼”按个数收费（并提供附加功能由顾客进行选配）。

4) 产品外观，所需功能可根据客户要求个性化定制，按照功能多少以及开发难度进行收费。展示的效果可与客户协商，是开发的新产品还是私人专属定制。

5) 线上销售:线上用户可以领取比普通用户更多的优惠券，享受一定的优惠，基于视障群体的特殊性，我们建议由政府或者第三方慈善组织，为视障人士提供光明之眼免费的使用和维护保养等费用，公司盈利资金纳入产品的后续研发和完善环节。

6) 线下销售：可让顾客实际体验一下戴上产品时的样子，进行私人专属定制，由政府或者第三方慈善组织，为视障人士提供光明之眼免费的使用和维护保养等费用，公司盈利资金纳入产品的后续研发和完善环节。

## 7 机遇与风险

### 7.1 机遇

可穿戴设备是 20 世纪发展起来的新型实用设备。随着移动互联网的发展、技术的进步以及高性能、低功耗处理芯片的推出，部分可穿戴设备已从概念化走向商业化，新型可穿戴设备不断涌现。从智能手表到蓝牙耳机，可穿戴设备已经融入了我们的生活。很明显，现在的电子终端产业并不是智能服装产业。2013 年以来，智能服装的热潮持续着。据国外研究机构 IDC 推测，如果智能穿戴技术的智能产品获得成功，5 年内有可能实现 4000 万台的销售。同时，该应用程序将为开发者带来 4 亿美元的收入。另一家美国信息咨询公司 IHS 发布的《可穿戴技术白皮书》显示，2016 年智能穿戴设备的出货量为 3900 万台，出货量为 1.7 亿台。瑞士的信用卡（credit suisse）发布的最新报告中，苹果和谷歌的支持，以后 2~3 年，智能软件技术的市场规模将从目前的 30 美元增加到 50 美元，更从 300 美元增加到 500 美元的预测。

---

以中国为例，中国是智能服装的新兴市场，2012年市场规模为8.9亿元。随着智能手机和物联网技术的成熟，2015年中国智能穿戴设备市场规模达到26.1亿元，2012-2015年复合增长率为30.9%。从细分市场来看，智能穿戴生活健康设备非常受欢迎，2012-2015年复合增长率为33.5%。2012年信息可穿戴设备的市场规模仅为2.8亿元，而随着谷歌眼镜的发布，市场突破点从2012年到2015年的复合增长率为47%。可见智能服装市场的预期很高，前景很好。

## 7.2 风险

1.穿戴式技术由于造价成本高和技术复杂，很多相关设备仅仅停留在概念领域。

2.前期对于穿戴式技术的资金投入较大，短期无法盈利。

3.本地计算能力不高，只能采集数据并做初步阶段的处理，而需要更大计算能力的数据分析都需要通过手机上的芯片来完成。

4.可穿戴设备的平台的受众人群还很小，市场规模小，抗风险能力弱。

5.技术难以达到客户所追求效果。

## 7.3 规避风险

1.增大宣传力度，增加国民知名度

2.前期主要经费用于技术开发，中期根据客户反应调整项目比重。同时做好财务规划，做到以最少的预算做到最优质的服务。

3.积极开展业务，增大市场。同时。准备多套实施方案，以防备不同的风险。

4.前期积极开展业务，尝试多种项目，积极与客户进行沟通同时做到技术改进。

---

## “速递先锋”—基于北斗系统的校园智能运送车

作者：李留振、温舒量、黄崇炜、王学仪

指导教师：刘伟平

学校：中国人民解放军战略支援部队信息工程大学

---

**【摘要】：**通过帮助他人办理生活琐事而取得报酬的校园跑腿给大学生活带来一定的便利，但其仍存在服务时间有限、物品安全和个人隐私存在隐患、配送效率低下、经济效益不高等问题。针对大学校园园区封闭、道路简单、场景变化不大、运营维护方便等特点，本组将北斗导航和校园跑腿服务相结合，设计了基于北斗系统的校园智能运送车，并研制了相应的原型系统，利用北斗 CORS 和惯性导航紧组合技术为运送车提供高精度位置信息，配合运送车上搭载的多种传感器实现自动行驶功能。通过二次开发得到的智能储物柜，使物品放置智能化、无人化，并提高运送物品的安全性。利用微信小程序开发“速递先锋”客户服务软件，实现运送车、智能储物柜、用户三者信息的高效交互，既方便用户掌握运送车位置信息，又利于后台实时监控和管理。本组设计的校园智能运送车具有运送服务全天时、低成本、高安全、保隐私等特点，将“人力跑腿”升级为“科技跑腿”，有效缓解了目前校园跑腿存在的问题，具有广阔的市场应用前景。

**【关键词】：**（北斗卫星导航系统，校园跑腿，自主导航，微信小程序，智能服务）

**【Abstract】** Campus errands that get paid by helping others with life trifles bring some convenience to college life, but there are still some problems such as limited service time, hidden danger of goods safety and personal privacy, low efficiency of distribution and low economic benefits. On university campus park, road closed, scene changed little, operation simple maintenance is convenient wait for a characteristic, our group combines the Beidou navigation and running errands services in schools, designed based on Beidou system of campus intelligent transport vehicle, and the corresponding prototype system is developed, using Beidou CORS and inertial navigation tight combination technology with high precision location information for the transport of cars, with delivery of the car with a variety of sensors to realize automatic driving function. The intelligent storage locker obtained through the secondary development makes the goods placed intelligently and unmanned, and improves the security of the goods transported. Using WeChat small program to develop "Express Pioneer" customer service software, to realize the efficient interaction of the transport vehicle, intelligent storage locker and users, which is not only convenient for users to grasp the location information of the transport vehicle, but also for the background real-time monitoring and management. The campus intelligent transport vehicle designed by this group has the characteristics of round-the-clock transport service, low cost, high security, privacy and so on. It upgrades "human errands" to "science and technology errands", alleviates the existing parcel

---

delivery problems on campus effectively and therefore enjoys a broad prospect for market application

【Key words】Beidou Navigation Satellite System,Campus Runner, Auto-Navigation, WeChat small program,Intelligent service

---

## 1 背景

### 1.1 问题提出

在大学校园里，由于生活节奏快、学习压力大、课程安排紧密、上课地点分散，拿外卖、取快递、买东西等细小琐事占据同学们大量时间和精力，通过帮助他人办理生活琐事来收取报酬的校园跑腿由此产生。校园跑腿的出现给生活带来了一定的便利，然而，目前已有的校园跑腿主要是通过招募在校大学生提供人力跑腿服务，存在如下问题：首先，服务时间受限，人力跑腿通常无法做到二十四小时不间断提供服务；其次，物品安全和个人隐私存在隐患，在配送过程中容易出现物品损坏或丢失，以及个人隐私的泄露；再次，配送效率低下、经济效益不高；最后，新冠疫情的影响还未消失，大学校园人数众多，与配送人员直接接触存在一定的安全隐患。

### 1.2 解决方案

为解决上述问题，本组充分利用大学校园园区封闭、道路简单、场景变化不大、运营维护方便等特点，将基于北斗导航的自动驾驶技术与校园跑腿服务相结合，提出“速递先锋”—基于北斗系统的校园智能运送车，尝试将传统的“人力跑腿”升级为“科技跑腿”，从而打破人力跑腿服务时间上的局限，通过自主导航运载平台为用户提供二十四小时不间断跑腿服务，利用智能储物柜配合基于移动互联网的客户服务软件，保障配送过程物品安全及用户隐私，整个配送过程无需人工参与，有力提高配送效率、节约服务成本，同时，可减少与配送人员直接接触，为疫情防控提供有力支撑。

## 2 系统组成

本方案包括三个方面：自主导航运载平台，智能储物柜，“速递先锋”客户服务软件。通过使用 Apollo 无人车开发套件、多种车载传感器配合自主导航技术搭建自主导航运载平台，实现智能运送车代替人力运输；通过二次开发快递柜构建智能储物柜，使用的可触摸显示屏方便寄取件操作、SIM 卡及天线方便信息交互、增添的安全机制能够确保物品在运输过程中的安全；通过使用微信开发者平台构建“速递先锋”客户服务软件，完成叫车服务、订单服务、运送轨迹自主监控服务、取件服务的集成。系统组成的具体框架图如图 1 所示。



图 1 速递先锋系统组成框架图

## 2.1 自主导航运载平台

自主导航运载平台主要包括车体部分、车载传感器以及自主导航技术，这里主要采取 Apollo 无人车开发套件来进行整车系统搭建，整体安装实物如图 2 所示。



图 2 运载平台安装实物

### 2.1.1 车体部分

该部分设计的主要组成为：

#### (1) 动力系统

通过锂电池组为智能运送车提供动力来源，带动整套装置工作，确保运送车在校园中顺利运行，符合绿色低碳环保要求。

#### (2) 车辆安全机制

由于运送车是自动运行的，存在一定的安全隐患，因此运送车的最高速度被限制为前进 20km/h，后退 10km/h，以防止严重的碰撞事故，且车辆后部左

下方安置有急停开关，拍下急停开关可以实现全车制动。车体方面，车辆前后分别有一条防撞条，能够感应防撞条与车体间的压力从而判断是否发生了碰撞。当发生轻微碰撞时，碰撞保护触点开关感受到压力就会立即解除动力，并会触发刹车，待车停稳后自动复位，以防进一步伤害。此外，防撞条也能形成有效的隔离，在一定程度上保护车辆和被撞物体。

### 2.1.2 车载传感器

运送车上搭载众多传感器，能够确保运送车安全有效平稳的运行。具体的实物安装位置如图 3 所示。



图 3 车载传感器位置示意

#### (1) BDS 双天线接收机和惯性导航传感器

在运送车的前后各安装一个 BDS 信号接收天线，利用北斗导航实时高精度确定运送车的位置和姿态，确保运送车处于监控范围，平稳运行，同时与惯性导航传感器组合，采用星网宇达新一代卫星/惯性组合导航系统 Newton-M2，该产品由高精度测绘级卫星接收板卡、三轴 MEMS 陀螺仪、三轴 MEMS 加速度计组成，可在星况良好的环境下提供厘米级定位，并在卫星信号遮挡、多路径等环境下长时间保持位置、速度、姿态精度。Newton-M2 设备实物和技术参数如图 4 所示。



技术参数	
系统精度	
航向	单点: 0.3° (1σ, GNSS/BD信号良好, 基线长度 ≥ 2m) RTK: 0.3° (1σ) 后处理: 0.1° (1σ)
姿态	单点: 0.1° (1σ, GNSS/BD信号良好) RTK: 0.1° (1σ) 后处理: 0.05° (1σ)
位置	单点: 1.5m (CEP) (GNSS/BD信号良好) RTK: 2cm+1ppm (CEP) (GNSS/BD信号良好) 后处理: 1cm+1ppm (CEP)
数据更新速率	200Hz (最大)

图 4 Newton-M2 实物与技术参数图

#### (2) 激光雷达

也称光学雷达，是激光探测与测距系统的简称，它通过测定发射器与目标物体之间的传播距离，分析目标物体表面的反射能量大小、反射波谱的幅度、频率和相位等信息，从而呈现出目标物精确的三维结构信息。运送车根据搭载的激光雷达能描绘出稀疏三维世界的特点，通过分类聚类的方法进行障碍物感知。在确保智能运送车安全平稳运行的同时，弥补摄像头传感器在死角的不足。

#### (3) 毫米波雷达

毫米波雷达的工作原理是通过发射毫米级的电磁波对障碍物进行探测，并接收障碍物的回波获取障碍物的信息。该技术不受光照强弱影响，即使全黑条件下也可以正常工作，同时受大气能见度影响小，可全天候工作。搭载毫米波雷达为运送车二十四小时不间断工作提供了有效保障。

#### (4) 摄像头传感器

由于毫米波雷达仅可以检测到前方是否有障碍物，而无法精准识别障碍物的大小和类别，运送车前部安装三个焦距不同的前视摄像头，以实现有近、中、远不同距离的物体进行探测。摄像头传感器能够自动检测行人、骑行者、摩托车、路边线、交通标识和信号等，为运送车的安全提供可靠保障。

### 2.1.3 自主导航技术

运送车主要依靠北斗系统提供导航定位服务，同时融合惯导传感器、视觉计算、激光雷达、毫米波雷达等多类传感器，最终实现车辆安全可靠的自主导航。

为了提高自主导航精度，这里采用北斗连续运行参考站技术（Continuously Operating Reference Stations, CORS），服务信息来自河南全球导航卫星连续运行参考站综合服务系统（河南 CORS），该系统利用 56 个北斗连续运行参考站（具体分布如图 5 所示）建立了一个高精度、高时空分辨率、高效率的全球导航卫星系统综合信息服务网。利用河南 CORS 发布的北斗改正数据，运送车可获得全天候厘米级高精度位置信息。

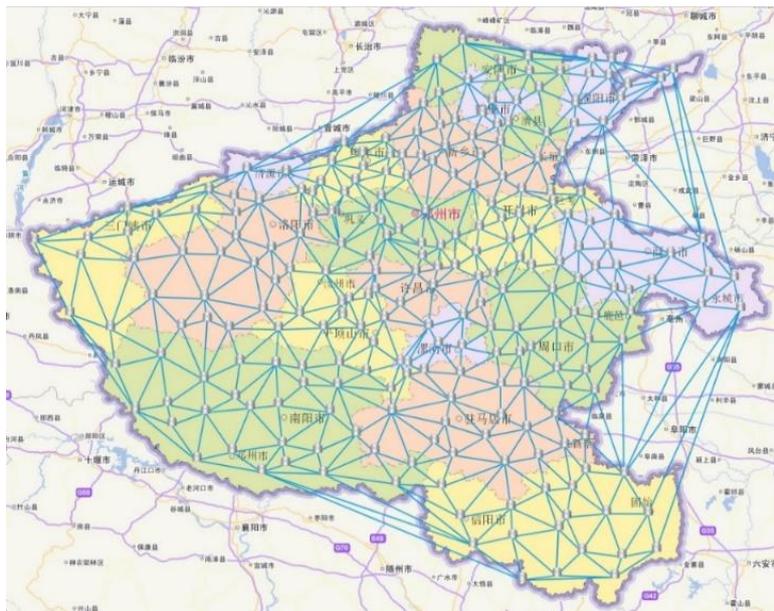


图 5 河南省卫星导航定位基准站分布图

考虑到卫星导航信号弱、易干扰等问题，进一步利用惯性传感器与北斗定位实现紧组合，同时融合应用摄像头、激光雷达、毫米波雷达等多传感器。摄像头自动检测物体并对其进行分类，确定与被检测物体的距离。运送车的激光雷达根据发射光束遇到障碍物后的折射时间，准确测量视场中物体轮廓边沿与设备间的相对距离，并绘制 3D 环境地图，其精度可高达厘米级别。同时通过毫米波雷达计算障碍物的距离。这些传感器技术优势互补，在白天和夜晚、雨、雾或雪等天气中提供最佳的可靠性、可用性。多传感器参数性能比较以及综合比较如表 1、表 2 所示。

表 1 多种传感器性能比较

传感器	激光雷达	摄像头	毫米波雷达
最远探测距离 (m)	200	50	250
探测角度 (°)	15~360	30	10~70
夜间环境下功能	强	弱	强
全天候功能	强	弱	强
不良天气下功能	弱	弱	强

表 2 多种传感器综合分析对比

	激光雷达	摄像头	毫米波雷达
功能型	建立实时的周边环境三维模型	车道偏离预警, 前向碰撞预警, 交通识别, 全景泊车	自适应巡航, 自动紧急制动
优点	精度高, 可实现扫描周围实时环境并建立三维模型功能	成本低, 可识别物体	不受天气影响, 探测距离远且精度高
缺点	受恶劣天气影响大, 成本高昂	依赖环境, 极端天气可能失效, 难以精确测距	成本高, 难以识别物体

## 2.2 智能储物柜

### 2.2.1 供电

智能储物柜的供电由一个动力锂电池和一个电压逆变器保障, 如图 6 和图 7 所示, 该型号锂电池输出的电压为 12V, 智能储物柜正常运行电压为 220V, 利用电压逆变器将锂电池 12V 电压转换为 220V 输出, 从而为智能储物柜正常供电。



图 6 动力锂电池



图 7 电压逆变器

### 2.2.2 柜体结构

智能储物柜柜体结构呈立方体, 其外漆为静电粉末喷涂, 采用 1.2mm 冷轧钢板制作, 柜体长 52cm、宽 45cm、高 45cm, 大小形状与车边框结构匹配吻合。储物柜正面划分为三个部分, 第一部分为长 40cm、宽 7cm 的灰色柜体, 是操作系统硬件的存放位置; 第二部分是长 32cm、宽 13cm 的固定显示屏的柜体; 第三部分为两个绿色柜体, 是储存用户物件的位置, 长 32cm、宽 12.35cm。具体结构如图 8 和图 9 所示。

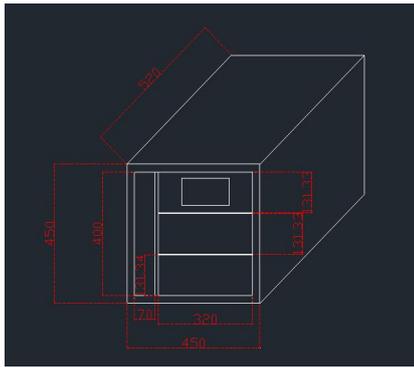


图 8 智能储物柜设计图



图 9 智能储物柜正面

### 2.2.3 显示屏及界面

智能储物柜采用的显示屏为防爆 LED10 寸显示屏，触摸屏操作。显示屏的开始界面有设备信息以及客服联系方式。界面上有“我要取件”和“预约投递”两个选择项，点击进入相应界面，会显示输入 6 位验证码进行取件的提示。

### 2.2.4 SIM 卡及天线

智能储物柜内置 SIM 卡，便于同步用户数据的同时，从客户服务软件获取用户取件验证码，并将验证码以短信的形式发送给用户。天线的作用是加强信号的强度，便于向用户及时发送相应的验证码。

### 2.2.5 安全机制

智能储物柜底部采用三角形固定条加螺丝固定，增加稳定性的同时也便于安装和拆卸，底角的设置便于调节四个角的高低以保持储物柜的平衡。柜子内部锁钩是加厚锁芯，同时采用钢制电控锁，安全系数较高，保障了物品的安全。

## 2.3 “速递先锋”客户服务软件

“速递先锋”客户服务软件是基于微信开发者工具稳定版（1.03.2101150）开发的微信小程序，通过 API 接口完成用户、智能运送车以及智能储物柜三者之间的信息交互，提供叫车、订单信息提交、运送轨迹自主监控和取件四个服务。叫车服务能呼叫运送车到达服务地点，订单信息提交服务将目的地和联系人手机等重要信息提供给运送车并存储，运送轨迹自主监控服务让用户能够自主查看物品位置，取件服务保证用户能安全地从运送车上取走物品。客户服务软件架构如图 10 所示。

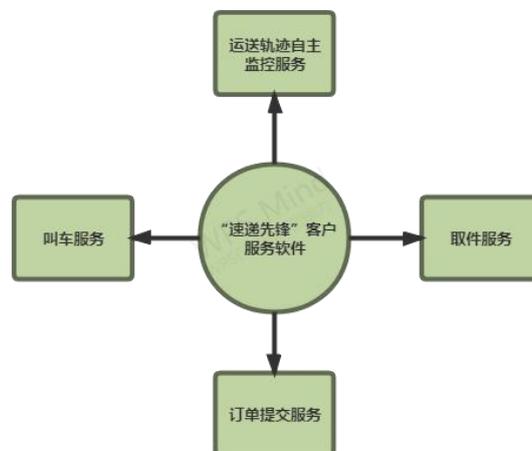


图 10 客户服务软件架构

### 2.3.1 叫车服务

客户服务软件首页提供叫车服务。用户打开客户服务软件时，该页面会要求用户完成信息授权，以获取用户的位置信息，用户点击“呼叫服务”后，客户服务软件将位置信息发送给能够提供服务的智能运送车，智能运送车会将该位置作为本次服务的起点并自动到达。“叫车服务”页面如图 11 所示。

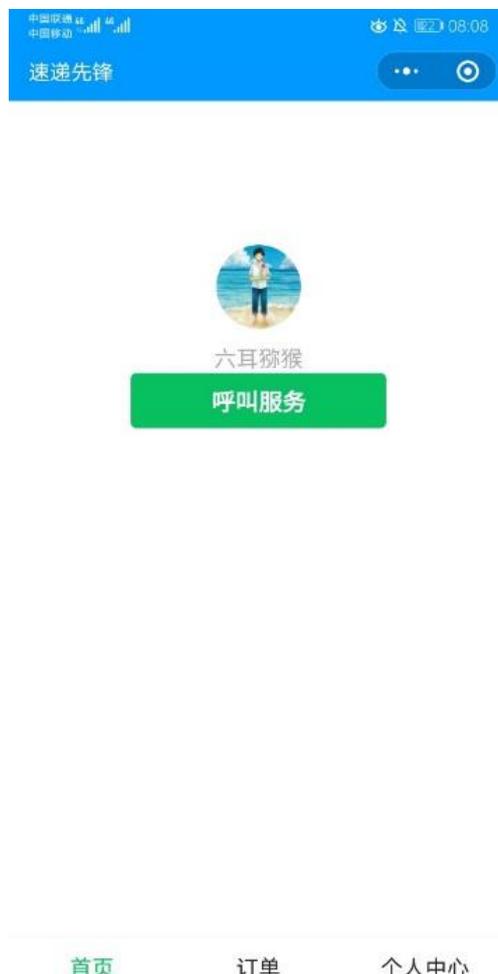


图 11 “叫车服务”界面

### 2.3.2 订单提交

客户服务软件“订单”页面提供订单信息提交服务。叫车服务结束后，客户服务软件自动跳转至“订单”页面，用户依次将运送地址和联系人电话填入信息栏中，完成系统对用户信息的获取。待智能运送车到达服务范围内后，点击“开始运送”将触发快递箱门打开，同时客户服务软件将运送地址发送给智能运送车作为服务终点。用户将物品放入并关闭箱门后，订单信息提交服务结束，运送服务开始。“订单”页面如图 12 所示。



图 12 订单详情界面

### 2.3.3 运送轨迹自主监控服务

客户服务软件“个人中心”页面提供运送轨迹自主监控服务。智能运送车实时将位置信息发送给客户服务软件，客户服务软件通过调用高德地图向用户实时显示，用户可以进入个人中心页面查看物品的位置和目的地，了解运送情况，方便安排取件时间。“个人中心”页面如图 13 所示。

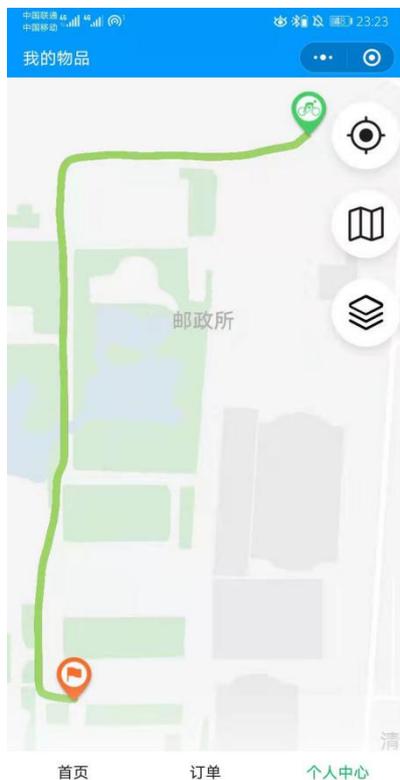


图 13 订单个人中心界面

### 2.3.4 取件服务

智能运送车到达服务终点后，向客户服务软件发送反馈，客户服务软件生成六位验证码，通过手机短信的方式发送给取件联系手机，同时验证码会同步到智能储物柜。取件用户将接收的验证码输入智能储物柜，触发柜门开启，取出物品后关闭柜门，服务结束。验证码接收如图 14 所示。



图 14 取件验证码

## 3 工作过程

“速递先锋”——基于北斗系统的校园智能运送车工作流程如图 15 所示。

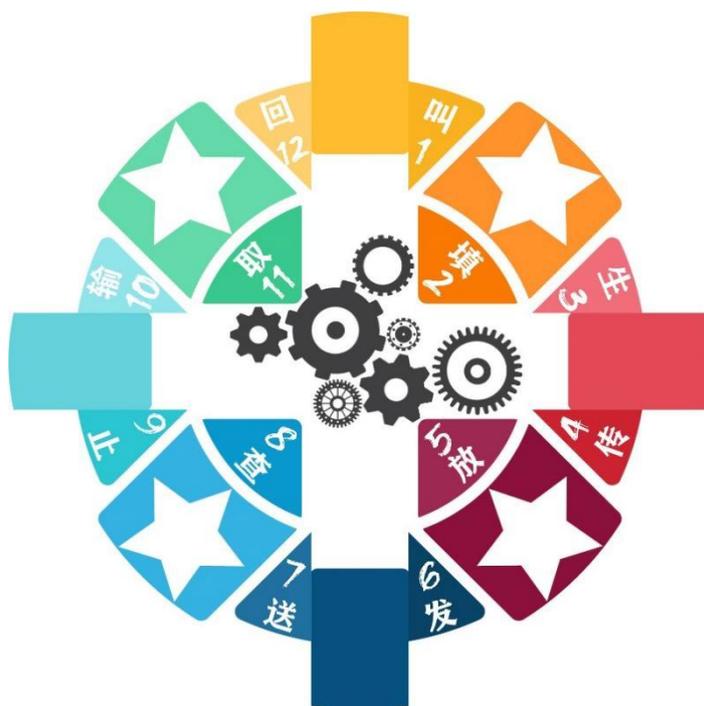


图 15 校园智能运送车工作流程图

具体工作步骤：

- ① 叫：用户进行叫车服务，智能运送车进行路径规划到达用户所在地
- ② 填：用户在客户服务软件上填写订单
  - 1) 取件人地址
  - 2) 取件人联系电话
- ③ 生：客户服务软件自动生成验证码

- 
- ④ 传：客户服务软件将验证码同步到智能储物柜
  - ⑤ 放：对应智能储物柜的柜门自动打开，用户将物品放入柜子后关闭柜门
  - ⑥ 发：智能储物柜中的 SIM 卡以短信的方式将验证码发给取件人的手机
  - ⑦ 送：智能运送车进行路径规划并前往取件人地址
  - ⑧ 查：用户通过客户服务软件实时查看智能运送车位置
  - ⑨ 止：智能运送车到达目的地后停止
  - ⑩ 输：取件人输入验证码
  - ⑪ 取：对应智能储物柜的柜门打开，取件人将物品取出后关闭柜门
  - ⑫ 回：智能运送车回到停靠点待命

在运送车实际运维中，可设置固定停靠点供智能运送车暂时停靠，停靠点由工作人员定期维修保养，并进行运送车工况监控、及时充电、更换电池等工作。

## 4 创新点

- 将基于北斗导航的自动驾驶技术与校园跑腿服务相结合，提出了基于北斗系统的校园智能运送车“速递先锋”，并设计实现了相应的演示原型系统，将人力跑腿升级为科技跑腿，有效破解了传统人力跑腿服务时间有限、物品安全和个人隐私存在隐患、效率低下、经济效益不高等问题，为大学校园中全天候安全可靠跑腿服务提供了一种可行的解决方案。
- 利用北斗 CORS 定位技术，结合河南全球导航卫星连续运行参考站综合服务，同时融合惯性导航、视觉计算、激光雷达、毫米波雷达等多传感器有效信息，实现了校园智能运送车的高精度自主导航，为运送车的自主运行提供有效保障。
- 开发了速递先锋微信客户服务软件，实现了智能储物柜、运送车、用户三者信息的高效交互，客户服务软件自主产生验证码，自动同步到智能储物柜并发送给用户，用户通过客户服务软件实时监控运送车位置，有效提高了运送过程的安全性，确保信息交互顺畅、智能、便利。

## 5 结论

针对校园跑腿的现存问题，本组提出了“速递先锋”——基于北斗系统的校园智能运送车，将校园中传统的“人力跑腿”升级为“科技跑腿”，打破了跑腿服务的应用时间限制，保证了物品的安全性和个人隐私，极大减少了人力、物力和时间成本。

本组设计的校园智能运送车包括自主导航运载平台、智能储物柜、“速递先锋”客户服务软件三个部分。自主导航运载平台作为“科技跑腿”的基础，依靠电池驱动，且设计有碰撞保护机制，利用北斗 CORS 高精度定位，同时融合惯性导航、视觉计算、激光雷达、毫米波雷达等多传感器，实现了运送车自主可靠运行；智能储物柜采用可触摸显示屏，并加装 SIM 卡及传输天线，在保证寄存物品安全的条件下，为跑腿服务的无人化开展提供有效保障；“速递先锋”客户服务软件实现了智能储物柜、运送车、用户三者信息的高效交互，既方便用户实时监控物品信息，又简化了寄取件流程。

---

本组设计的“速递先锋”智能运送车在解放人力的同时具有运送服务全天候、低成本、高安全、保隐私等特点，同时，可减少跑腿服务中的人员接触，有利于当前的疫情防护工作。

### 参考文献

- [1] 郭树人, 蔡洪亮, 孟轶男, 耿长江, 贾小林, 毛悦, 耿涛, 饶永南, 张慧君, 谢新. 北斗三号导航定位技术体制与服务性能[J]. 测绘学报, 2019, 48(07):810-821.
- [2] 许扬胤, 杨元喜, 曾安敏, 马越原. 北斗三号全球系统空间信号精度评估分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(10):1000-1006.
- [3] 管郡智. 基于激光雷达的三维点云目标检测算法研究[D]. 浙江科技学院, 2020:41-43.
- [4] 李墨. 面向无人驾驶汽车的雷达—视觉集成控制器研究[D]. 吉林大学, 2017:11-12.
- [5] 智凯旋, 王峰, 揭云飞, 熊超伟, 李学易. 基于视觉的车载组合导航系统[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(19):229-231.
- [6] 付廷强. 基于 GNSS/IMU/视觉多传感融合的组合导航定位算法研究[D]. 上海交通大学, 2019:45-47.
- [7] 崔进东. 面向北斗 CORS 运行数据的动态监测系统的设计及实现[D]. 南京邮电大学, 2020:21-23.
- [8] 何劭航, 孙付平, 肖凯, 张伦东. 抗差 EKF 滤波在 GNSS/INS 组合导航中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(02):33-37.
- [9] 张雷. 自动驾驶汽车视觉导航理论研究[D]. 长安大学, 2005:62-64.
- [10] 龙腾, 穆荣军, 苏炳志, 崔乃刚. 双天线 GPS/MEMS-INS 深组合导航方法研究[J]. 宇航学报, 2021, 42(01):92-102.
- [11] 王艺帆. 自动驾驶汽车感知系统关键技术综述[J]. 汽车电器, 2016(12):12-16.
- [12] 刘波, 黄情琴, 李鑫科, 刘连滴, 苏泽利, 余文森. 微信校园便捷服务平台的开发与实现[J]. 现代信息科技, 2019, 3(22):86-88+9.

---

# 基于图像识别的双北斗导航电力巡检无人机

作者：周洋、李江鹏、蔡梓涵、张翔宇

指导教师：王盼宝

学校：哈尔滨工业大学

---

**【摘要】**：本项目主要设计一种应用于电力系统巡检的无人机系统，可以通过手动自动巡航两种模式，使用双北斗导航系统自动巡航，并可以自主充电桩进行充电，提升工作范围，使用图像识别技术携带可见摄像头、红外摄像头等探测设备进行巡检，使用卷积神经网络算法对残缺绝缘子等进行识别标记。无人机携带设备可以模块化自由组装，同时可以搭载机械臂、架线脱钩器等部件，应用场景更广，大大降低了无人机操作的使用门槛，改善了传统电力巡检过度依赖人力的情景。

**【关键词】**：无人机 双北斗导航系统 电力巡检 充电桩 卷积神经网络

**【Abstract】** This project mainly design of unmanned aerial vehicle (uav) for applied in power system, inspection system, can be manually automatic cruise two modes, using double automatic cruise, beidou navigation system and can charge the battery by independent charging pile, enhance the scope of work, using image recognition technology with visible camera, infrared camera detection equipment for inspection, The convolutional neural network algorithm is used to identify the defective insulators. The UAV carrying equipment can be modular and freely assembled, and can also carry mechanical arm, wire decoupling device and other components, which can be used in a wider range of scenarios, greatly reducing the operating threshold of UAV and improving the situation that traditional power inspection relies too much on manpower.

**【Key words】** Dual Beidou Navigation System of UAV Electric Patrol Inspection Charging Pile Convolutional Neural Network

---

## 1 项目研究目的

为保障当前庞大而复杂的电网体系下供电安全及稳定，本项目对于基于图像识别技术的模块化电力巡检无人机系统进行研究与设计，针对当前无人机巡检的重点与难点——线路检测技术，通过模块化设计，以视觉传感器接收光信号，对高压电网器械存在的安全隐患进行识别、检测与分析，得出电网问题出现的位置并反馈给监测站，帮助监测者通过无人机携带的图像采集设备，及时发现电网问题的出现位置并修复，以一种便捷、高效、易于构建的模式，完成对整个电网线路体系的巡检，提高我国电力线路检测技术水平。

同时，对于无人机广为人诟病的续航问题，本项目提出针对性解决方案——飞行续航平台系统（以下简称“充电桩”）。在航线上安设充电平台，通过无人机北斗导航系统定位模块，使其实现在电量低时自动寻找充电桩，以进行充电续航完成其工作任务。这一设计可有效无人机最大航程，能够一次性对整

---

条线路进行巡检而免于进行周期性的返航，可节省大量时间成本并且减少人力物力的浪费。

从维护及升级的角度看，基于 MBSE 的设计使得日常维护可以通过更换部件来解决，免去了传统的一体整机式无人机维护的不便，同时当各部件升级换代时，仅需更换相应模块即可完成整体的升级，大大减少了成本；从泛用性的角度看，这样的设计拓宽了无人机的适用范围，通过安设相应的结构，可以实现不同的功能，达到一机多用的效果。

## 2 课题背景

随着我国经济快速发展，超高压大容量电力线路正大幅扩建。而我国的电力线路走廊需要穿越各种复杂的地理环境，给电力线路的检测带来了很多困难。随着线路里程不断增加，人均运维长度逐年增长，现有巡检方式效率愈显低下。目前的电力巡检主要包括：人工巡检、有人直升机巡检、无人机巡检三大体系。主要存在地形复杂、环境复杂、气候复杂、工作量庞大、新增项目多、高空作业危险性大、人工识别错误率较高、突发事件响应不及时的特点。而人工巡检依然是我国目前大多数省市的电力巡检的主要方式，传统电力巡检效率低、费时费力、人员成本高。随着无人机技术的发展，无人机在电力行业的应用越来越广，电力巡线人员开始使用小型无人机作为巡检工具。

本项目主要设计一种应用于电力系统巡检的无人机系统，拥有手动自动巡航两种模式。自动巡航可以运用充电桩进行自主充电，提升工作范围，使用图像识别技术进行巡检。无人机携带设备可以模块化自由组装，降低了无人机操作的使用门槛，改善了传统电力巡检过度依赖人力的情景。使用无人机大面积巡检电路线路，可以对冰冻等自然灾害发生预警有着较为良好的应对效果，同时可以经过一定技术的观测，观察识别并和相关数据对比，找出电力设备故障发生点，保证电力设施的有效运行。使用无人机进行巡线检测，将大大降低巡检成本，提高巡检效率，保障巡检人员的生命安全。我们希望能够创新出可以远程遥控的自动无人机设备，减轻人力的负担。

## 3 课题主要研究内容

### 3.1 飞行控制

考虑到在对电网的巡查中，可能多次悬停对数据进采集，因此需要精准的悬停功能。所以选定了六旋翼无人机作为实验机型，而旋翼无人机续航时间的问题，将会通过自动充电桩解决。在无人机飞行控制方面，综合多方面考量，选用 Pixhawk4 开源飞控，使用 PX4 开源的自动飞行控制的架构。并借助 Mission planner 地面控制站，来自主设置飞行参数，以及获取实时的航行信息。

关于无人机的操控，一共有油门、横滚、俯仰和偏航四种指令。其中油门控制升高下降的速率，横滚指令会产生左右旋转，俯仰指令会改变俯仰角以达到上升下降的效果，偏航指令会改变偏航角速度达到转弯飞行的效果。六旋翼无人机在飞行状态时，六个旋桨分为两组分别按顺时针逆时针方向分开旋转，在确保升力的同时保证无人机不会自转。悬停时六个旋翼旋转产生的升力合力与无人机重力平衡，两组不同方向旋转产生的扭力也平衡，这样的设计使得旋翼无人机可以平稳运行，示意图如下：

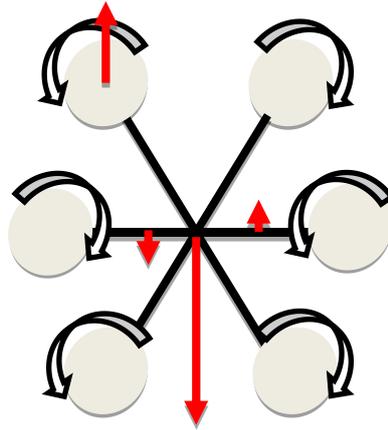


图 1 电机转向示意图

飞行参数的调整依赖于 PID 控制算法。在实际操作中，由于无人机本身结构的复杂性，加上环境对于飞行影响的复杂性。整个飞行过程是难以得到精确的数学模型的，这种情况下控制理论的很多技术也就难以使用，必须依靠现场调试和人为的经验决定，这对自动化控制产生了一定的困难。而 PID 算法，以比例调节为基础，引入了积分微分调节避免了比例的稳态误差和控制振荡。具体的过程图如下：

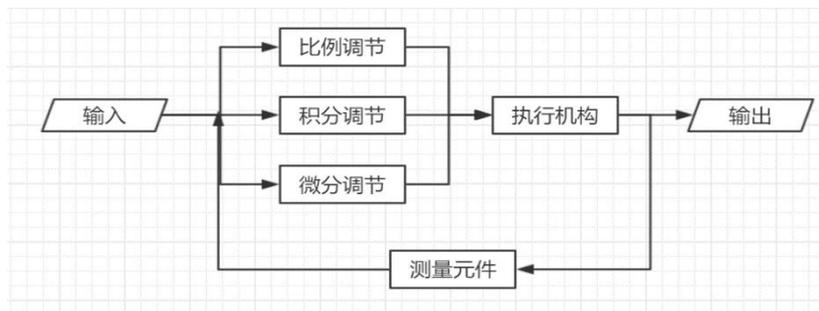
根据测量元件返回的各项飞行数据，再结合预期指标，通过多种调节结合，得出随后的飞行姿态调整，不断向预期位置靠近。PID 具体算法近似为：

$$U(t) = kp \left( err(t) + \frac{1}{T_i} \int err(t) dt + \frac{T_d derr(t)}{dt} \right)$$

而 PX4 系统采用双闭环 PID 控制，外环为角度控制使用纯比例控制，作为补充引入内环角速度控制使用 PID 三维控制。在实际操作中，只需在 Mission planner 操作平台调整 Roll、Pitch 和 Yaw 三个方向上的参数即可完成平稳飞行。将 PID 与摄像板块 openMV 结合，借助 openMV 得到的环境信息进行图像处理，得到位置信息的变化方向。调整 PID 的各个系数，然后链接电机即可完成自主的飞行模式。

由牛顿第二定律，建立六旋翼无人机的运动学模型：

$$\begin{aligned} \ddot{\vec{P}} &= \mathbf{v} \\ \dot{\vec{v}} &= \mathbf{g} + \mathbf{R} \frac{\mathbf{T}_F}{m} \end{aligned}$$



式中  $\mathbf{P}$  为地理坐标系下无人机位置向量， $\mathbf{v}$  为无人机在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三轴上的速度向量， $\mathbf{g}$  为地面坐标系下的重力加速度值， $m$  为飞行器质量， $\mathbf{R}$  为机体坐标系与地理坐标系的位置转换矩阵，具体表达式如下：

$$R = \begin{vmatrix} \cos\theta\cos\Psi & \sin\phi\sin\theta\cos\Psi - \cos\sin\Psi & \cos\phi\sin\theta\cos\Psi + \sin\phi\sin\Psi \\ \cos\theta\sin\Psi & \sin\phi\sin\theta\sin\Psi + \cos\cos\Psi & \cos\phi\sin\theta\sin\Psi - \sin\phi\cos\Psi \\ -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta & \cos\phi\cos\theta \end{vmatrix}$$

$T_F$  为机体坐标系下旋翼组件提供的总升力，表达式为：

$$T_F = (0, 0, -\sum_{i=1}^6 b\omega_i^2)^T$$

其中  $\omega_i$  为第  $i$  个旋翼组件轴电机的转速， $b$  为升力系数。

将  $R, T_F$  带入原式，可以得到如下公式：

$$\begin{aligned} x &= (\cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\phi\sin\psi) \frac{-T_F}{m} \\ y &= (\cos\phi\sin\theta\sin\psi - \sin\phi\cos\psi) \frac{-T_F}{m} \\ z &= g - (\cos\phi\cos\theta) \frac{T_F}{m} \end{aligned}$$

可得到无人机在飞行过程中的姿态方程，以此进行基本的飞行姿态理论验证。

### 3.2 图像识别与数据传输

选用 Open MV 机器视觉模块进行图像识别，OpenMV 是一个开源，低成本，功能强大的机器视觉模块。以 STM32F427CPU 为核心，集成了 OV7725 摄像头芯片，在小巧的硬件模块上，用 C 语言高效地实现了核心机器视觉算法，提供 Python 编程接口。OpenMV 上的机器视觉算法包括寻找色块、人脸检测、眼球跟踪、边缘检测、标志跟踪等。可以用来实现非法入侵检测、产品的残次品筛选、跟踪固定的标记物等。OpenMV 采用的 STM32F427 拥有丰富的硬件资源，引出 UART, I2C, SPI, PWM, ADC, DAC 以及 GPIO 等接口方便扩展外围功能。USB 接口用于连接电脑上的集成开发环境 OpenMVIDE，协助完成编程、调试和更新固件等工作。TF 卡槽支持大容量的 TF 卡，可以用于存放程序和保存照片等。

使用 Open MV 机器视觉模块进行电网上异物和可见故障进行识别，通过摄像头芯片将前端摄像头拍摄到的画面进行回传，通过互联网传输回使用者的设备上，在通过计算机实现对于故障的具体识别和分析，提出相应解决方案。

### 3.3 抓取结构和脱钩器的设计

对于无人机需要满足对于抓取和挂线的需要，选用两关节、双夹式的机械臂作为主要抓取结构，使用机械臂对于电网上异物进行清理。

同时，无人机的飞行能力在电网挂线方面的应用，对于点网线路挂线时需要首先进行引线的布置，在遇到沟渠、河流等情况时，就可采用无人机进行引线的运输，从而完成线路的布置。

### 3.4 充电桩的设计

最终选择了无人机自身携带太阳能电池板与在一定区域内使用太阳能充电桩两种方案的组合。在阳光充足时，采用太阳能电池板供电，需要快速充电或阳光不充足时，采用充电桩充电。在无人机飞行途中，如果阳光充足，电量即将耗尽时落地依靠阳光充电，充好电后继续飞行巡检；如果遇到阴天情况，飞机电量耗尽时自主寻找充电桩进行降落补电，补电后继续巡航。

对于充电模式，在无线充电和连接充电中，考虑到无线充电的效率较低，充电周期过长，本小组最终选择了贴片连接充电方式，即在无人机的机架下下放贴有铜片，通过充电线连接至无人机的蓄电池，而充电桩的充电部位也采用金属充电接口，对无人机进行充电。

为解决充电桩自身信息的传递，考虑在充电平台上使用二维码。其一，方便无人机降落充电时，使用者获取关于该充电桩信息。其二，可以设置平台成淡色色调，借助二维码定位图案，与稳定停放时相机中图形位置比对，计算出图形仿射变换矩阵。在停靠中利用该矩阵不断修改飞控参数，以期平稳降落。前期开展了对 QR 码识别的相关实验。

使用摄像头传回的照片，首先进行图像预处理。首先，由于 openMV 摄像头标配版镜头，未自带矫正透镜，初始的图像会造成近大远小的桶形畸变。所以第一步需要对图像使用桶形矫正算法，借助已有的数学模型：

$$r_u = r_d(1 + kr_d^2)$$

取图像中心点，用像素点原来到中心点的距离和比例系数计算得出还原的距中心距离，输出正常比例的图像。然后，为了简化图像数据并降低精度防止图像失真，对图像进行灰度化便于之后编程处理。对彩色图像进行 R-G-B 三个通道去加权平均得到对应灰度值：

$$f(i, j) = 0.30R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.11B(i, j)$$

然后考虑到无人机搭载摄像头里目标位置较远，记录图像中会包含许多噪点。图像降噪的算法有均值降噪、中值降噪等。出于简便性的考量，先对均值降噪进行了测试。均值降噪取像素点周围 3\*3 大小，中心点灰度值为其余点平均值。查阅资料，通过比对处理前后的样图，发现对于点状椒盐噪声无法有效去除，而且处理后图像较为模糊。由于拍摄距离和拍摄环境的问题，图像中点状噪点会比较多，所以改用中值降噪算法。同样取像素点周围 3\*3 大小，中心点灰度值为其余点中位数，这样对图像清晰度影响不大，还有效去除了噪声。进一步需要讲 QR 码从背景中凸显出来，进行二值化处理。预设较高的阈值，将图像转化为黑白两色。由于是在正常环境中进行测试，使用简单的预定阈值二值化即可达到目标。通过查阅资料，了解到在复杂拍摄环境下，光照不均衡，这样的处理就不再适用。可以使用自适应的局部阈值或者分块进行二值化，这将是后期实践过程中不断测试的一个方向。

对图像进行了初步的预处理之后，QR 码与环境已经大致分离。此时需要寻找定位矫正符，调用函数查找“回”字轮廓。由于需要对符号黑白颜色比为严格的 1:1:3:1:1，但实际拍摄中不可能总是正对着二维码，所以需要进行仿射变换：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$(x, y)$  为原始坐标，中间是变换矩阵，使用齐次坐标将平移、旋转和伸缩变换统一到一个矩阵中便于计算，为调整后的坐标。每一对端点得到： $\left(\frac{X}{Z}, \frac{Y}{Z}\right)$

$$\begin{cases} X' = \frac{X}{Z} = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \\ Y' = \frac{Y}{Z} = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \\ Z' = 1 \end{cases}$$

四组共八个方程，初始点为原本坐标，目标点为屏幕中央四端坐标，得到变化矩阵。初期设想，如果摄像头安装在无人机底部，则该变换矩阵会辅助之后降落时无人机位置微调，矩阵与飞控参数会存在某种关系，是后期实践的一个方向。

最后，得到了正对角度完整无杂的 QR 码图像，调用二维码读取信息库函数进行译码和纠错，得到信息。后期计划建立地面站，借助 openMV 中集成的 WiFi 通讯板块，将数据实时传输。

### 3.5 图像识别和导航解算技术研究

由于图像识别和导航解算的处理需求，有两种解决方案。一种是通过地面辅助，将数据发送给地面分析后再将下一步动作传回。这种方法运算速度快，机载重量小续航久，应用较为普遍。但由于本项目中需要进行自主降落，对数据的实时性要求高，采用机载计算机处理器的方式进行数据处理。

a. 航线决策：处于安全和成像考虑，巡检时无人机需要在导线侧上方飞行，且无人机和太阳宜在导线同侧。最重要的是要沿电线飞行保持安全距离与清晰成像距离之间，同时需要保持机载摄像机始终能捕捉到电线且最好在视野中央。这就需要实时反馈对速度方向进行飞行控制。这里大致有两种解决方案，一种通过对高架线分布进行人工的归纳总结，结合北斗导航系统规划，让无人机按照规律行进。操作性强不存在实时性问题，但在风力等因素影响下容错性非常低。另一种则需要一个简易的快速实时图像识别算法，确保电线在视野中央，需要与飞控软件系统结合，实时矫正飞行高度方向。飞控软件常用有恒拓飞控，PX4，大疆等，偏向于使用恒拓开源飞控，用 C 语言编程而且相对简单。算法方面考虑用局部特征点提取，依托于电线特有颜色或形状进行识别。这样巡航精度会大大提升，但难度也增加了许多，具体如何选择会结合实验做出互补取舍。

b. 绝缘子识别：计划在无人机执行飞行任务中，需要对电网绝缘子进行识别，并自动评估其使用情况。所以对绝缘子的识别也是一个重要问题，由于现实因素前期无法对实际电网进行考察，所以仅在理论上进行方法探索，以便后期进度推进。

与 QR 码识别相同，图像预处理部分都会经图像矫正、灰度化、降噪、二值化过程。但在识别绝缘子过程中，周围背景环境更加复杂，且周围没有衬托

---

目标的底色。所以仅使用中值滤波是不够的，由于高度原因带来复杂光照环境，产生大量高斯噪声。出于这样的考虑加入了高斯滤波算法。与均值滤波不同，高斯滤波选取预定大小，按照据中心点距离的正态分布决定灰度权值的加权平均值。因为绝缘子的边缘与环境差别并不是非常大，需要根据具体情况，对图像进行增强处理。对灰度图像拟进行锐化滤波处理，使图像反差增加，增强被模糊的细节及其边缘。

经过图像预处理后，接下来对绝缘子进行定位。通过查找绝缘子照片比对发现，考虑单个绝缘子情况，侧视图近似为一个纯色圆形。初步选定借助霍夫圆判定算法，检验边缘像素发现可能圆心，再计算最佳半径。查阅 openMV 用户手册中发现，有圆形判定及追踪的核心库函数，后期可能会结合库函数对绝缘子进行识别。

解决了单个绝缘子的识别，再考虑绝缘子串的识别。现阶段选择使用单种子区域生长算法，先识别一个圆形，然后在以相同的颜色扩张局域得到最终结果。如果可见光形式下结果不够理想，使用红外线热感也可以作为一个探究方向。

c. 隐患判定：绝缘子最大的隐患在于污闪现象的发生，原因在于绝缘子表面沉积的污秽吸收潮湿空气中水分后，绝缘强度大幅度下滑。对此需要寻找方法对绝缘子污秽程度进行测量分类，现已有基于放电时紫外光斑分析的紫外成像法，利用污垢表面升温的红外测温法，泄露电流法，可见光图像识别法等。由于可见光识别具有无需停电无需接触环境要求低的优点，初步选定主要方法研究方向为用可见光识别方法对绝缘子污秽等级进行测量划分。

d. 可见光图像识别法（难点）：

图像方面。首先由于图像中有周围复杂背景以及远处的绝缘子，交错的电力设备。为确保结果准确性，需要对绝缘子进行图像分割。考虑到 python 在图像处理方向上原生库数量功能优势明显，初步决定在图像处理上使用 opencv python。在该方法中使用 HSV 彩色模型，减少了三个变量间的相关性，方便后续的特征分析。将 HSV 三个分量图像分别提取出，选择噪点较少绝缘子轮廓突出的一个分量开始提取。业界最常用结合分水岭与自动种子区域生长的图像分割算法，先用分水岭算法对 HSV 色彩空间图像进行小区域划分，选取与目标像素点强度相同的像素点作为初始种子点，不断扫描扩张，直到边缘像素点不再符合延伸要求，得到目标区域。再对区域进行简易的降噪处理，对单个像素区域大小与总像素做比，滤去干扰像素粒，得到轮廓明显的绝缘子图像。

数据方面。本方法通过对电厂提供绝缘子的 4 个污秽等级样本图库，进行 RGBHSV6 个通道的平均值，中值，最大最小值，极差方差数据特征分析。借助 Fisher 准则函数选出区分度最高的数据特征，再相应的对分离出的绝缘子区域进行特征提取，需要寻找一种简易且较为准确的分类算法，也可以再进一步使用分类器学习。最终得到了绝缘子污秽等级划分结果

e. 绝缘子状态检测研究。在沿线飞行过程中，不断寻找绝缘子。找到目标后调整飞行状态，慢慢靠近找到最佳视角，做短暂的悬停分析，之后继续巡航寻找下一个绝缘子。根据电网规范，将绝缘子污秽程度分级，并在巡航结束后同步数据。

项目使用基于单独的 CNN 卷积神经网络 Yolo 算法，借助开源的 Yolov4 框架，完成对绝缘子图像的识别。

Yolo 算法是近年来典型的 one-stage 目标检测算法，与 two-stage 算法先生成候选框然后再对每个候选框进行分类的过程不同，one-stage 仅需要将图片送入网络一次就可以预测出所有的边界框，速度相对较快非常适合移动端。Yolo 算法核心思想在于将原始图片分割成互不重合的小方块，然后通过卷积最后生成同样大小的特征图，取代了此前的滑动窗口逐次 CNN 分类的过程。卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）是一类包含卷积计算且具有深度结构的前馈神经网络，是深度学习的代表算法之一。卷积神经网络仿造生物的视知觉机制构建，可以进行监督学习和非监督学习，其隐含层内的卷积核参数共享和层间连接的稀疏性使得卷积神经网络能够以较小的计算量对格点化特征，例如像素和音频进行学习、有稳定的效果且对数据没有额外的特征工程要求。卷积神经网络具有表征学习能力，能够按其阶层结构对输入信息进行平移不变分类，因此也被称为“平移不变人工神经网络”。

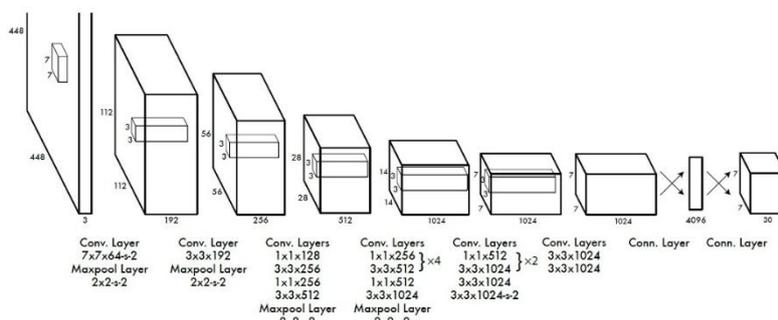


图 3 YOLO 网络设计示意图

YOLO 算法将 Object Detection（目标检测）的问题转化成 Regression 问题。给定输入图像，直接在图像的多个位置上回归出目标的 bounding box 以及其分类类别。可以一次性预测多个 Box 位置和类别的卷积神经网络能够实现端到端的目标检测和识别，其最大的优势就是速度快。事实上，由于目标检测的本质就是回归，因此一个实现回归功能的 CNN 并不需要复杂的设计过程。YOLO 没有选择滑动窗口（silding window）或提取 proposal 的方式训练网络，而是直接选用整图训练模型。这样做的好处在于可以更好的区分目标和背景区域，相比之下，采用 proposal 训练方式的 Fast-R-CNN 常常把背景区域误检为特定目标。YOLO 的设计理念遵循端到端训练和实时检测。YOLO 将输入图像划分为  $S \times S$  个网格，如果一个物体的中心落在某网格（cell）内，则相应网格负责检测该物体。在训练和测试时，每个网络预测  $B$  个 bounding boxes，每个 bounding box 对应 5 个预测参数：

- bounding box 的中心点坐标  $(x,y)$ ，宽高  $(w,h)$
- 和置信度评分（confidence）

这个置信度评分综合反映了：

- 当前 bounding box 中含有 object 的置信度  $\Pr(\text{Object})$
- 当前 bounding box 预测目标位置的准确性  $\text{IOU}(\text{pred}|\text{truth})$

如果 bounding box 内不存在物体，则  $\Pr(\text{Object})=0$ 。如果存在物体，则根据预测的 bounding box 和真实的 bounding box 计算 IOU，同时会预测存在物体的情况下该物体属于某一类的后验概率  $\Pr(\text{Class}_i|\text{Object})$ 。

假定有待测绝缘子（以下称“C 类物体”），那么每一个网格只预测一次 C 类物体的条件类概率  $\Pr(\text{Class}_i|\text{Object})$ ， $i=1,2,\dots,C$ ；每一个网格预测  $B$  个 bounding box 的位置。即这  $B$  个 bounding box 共享一套条件类概率  $\Pr$

(Class<sub>i</sub>|Object),  $i=1,2,\dots,C$ 。基于计算得到的  $\Pr(\text{Class}_i|\text{Object})$ , 在测试时可以计算某个 bounding box 类相关置信度:  $\Pr(\text{Class}_i|\text{Object}) \Pr(\text{Object}) * \text{IOU}(\text{pred}|\text{truth}) = \Pr(\text{Class}_i) * \text{IOU}(\text{pred}|\text{truth})$ 。如果将输入图像划分为  $7*7$  网格 ( $S=7$ ), 每个网格预测 2 个 bounding box ( $B=2$ ), 有 20 类待检测的目标 ( $C=20$ ), 则相当于最终预测一个长度为  $S*S(B*5+C) = 7*7*30$  的向量, 从而完成检测+识别任务。

可以看到网络的最后输出为  $7*7*30$  大小的张量。对于每一个单元格, 前 20 个元素是类别概率值, 然后 2 个元素是边界框置信度, 最后 8 个元素是边界框信息。在训练之前, 先在 ImageNet 上进行了预训练, 得到的 20 层卷积层之上加上随机初始化的 4 个卷积层和 2 个全连接层。对于训练损失函数的分析, Yolo 算法将目标检测看成回归问题, 采用的是均方差损失函数。在预测过程中, 使用了非极大值抑制算法, 解决了一个目标被多次检测的问题, 首先从所有的检测框中找到置信度最大的那个框, 然后挨个计算其与剩余框的 IOU, 如果其值大于一定阈值即说明重合度过高, 那么就将该框剔除。

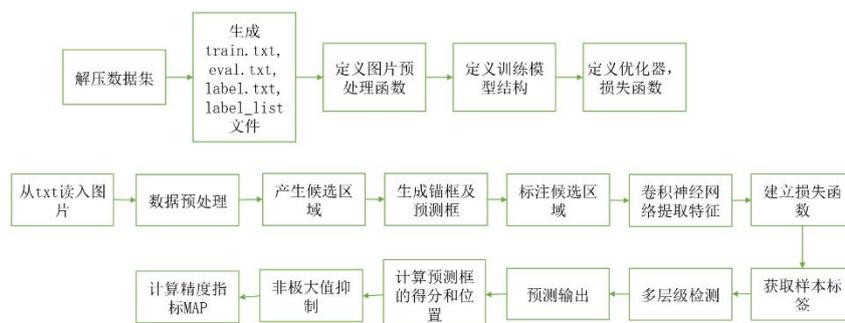


图 4 YOLO 流程图

项目使用 GitHub 上由中国国家电网公司提供的绝缘子数据集, 该数据集提供无人机捕获的正常绝缘体图像和合成有缺陷的绝缘体图像。其中, 由于缺陷绝缘子数量不多, 采用了数据增强方法获取。利用图像分割算法从小部分原始图像中分割出缺陷绝缘子, 得到一些掩模图像。之后使用仿射变换对原始图像及其掩模进行增强, 得到大量的原始掩模图像对。最后在不同的背景下加入提取出的绝缘体。另外, 数据集包含 voc 数据标记格式, 标记出图片绝缘子位置以及所属分类。



图 5 正常绝缘子与缺陷绝缘子（数据增强）示意图

### 3.6 其它相关研究内容

a、沿线巡航研究。预期无人机由北斗导航系统规划出大致路线，始终在电线侧上方飞行，并保持电线始终在机载摄像机视野中。由于北斗存在误差，所以无人机在执行任务的过程中可能会出现偏离预定航向的情况，造成无人机与输电线路或其他障碍物的发生碰撞；在经过交跨线时，如果无人机的飞行高度不够，同样存在与线路发生碰撞的危险。因此，为了保障无人机巡线系统及输电线路的安全，提升巡线作业的可靠性，有必要开发一套无人机避障系统，实现无人机巡线系统的自主避障功能。

b.通过 LC 谐振电路检查电网的内部线路问题，项目组新提出的想法，正在实验验证，在无人机上搭载两个带有 IC 谐振电路的电磁场检查设备，通过传回的电磁场的数值，判断电网线路是否出现异常，完成在巡航过程中对于电网内部线路的巡检，可及时发现不可见隐患。

## 4 结论（成果介绍）

项目组目前已完成结题目标，主要进展可分为硬件与软件两个方面：

### 4.1 硬件方面

A. 对于无人机动力的无刷电机已经完成电调，航模电机的转动动力完全能够支持整台无人机的飞行及完成相关动作。



图 6 无人机飞行测试

B. 对于脱钩器进行了从建模到实体化制作的过程，模型图与实物图如下：

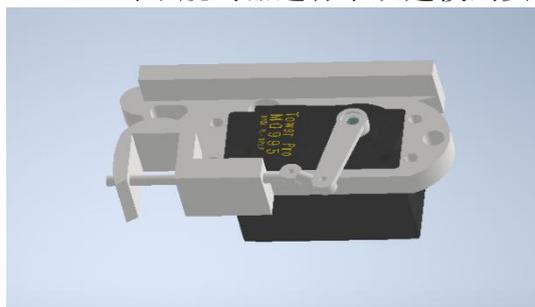


图 7 脱钩器 3D 建模图



图 8 脱钩器实物图

C. 无人机的机架已完成从建模设计到实物制作，以及整体的受力分析，选择机架型号 ZD850 的无人机机架进行项目制作，并且对模型进行了受力分析，结果显示满足本项目所需的受力标准，并按照受力分析对部件进行了合理布局，建模图与实物图如下：



图9 无人机机架3D模型图

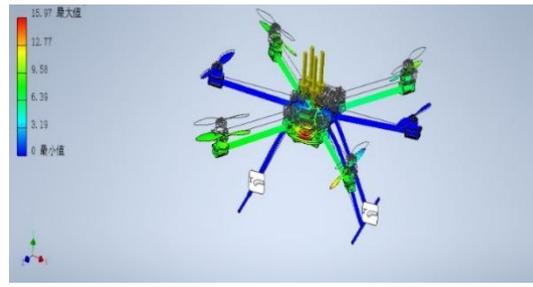


图10 无人机机架应力分析图



图11 无人机机架实物图

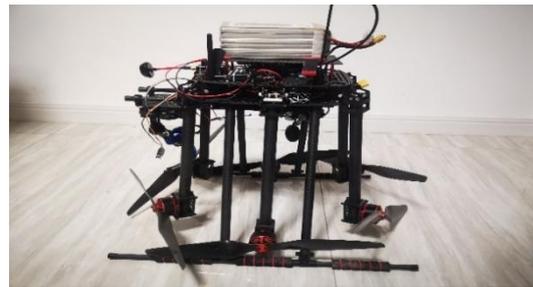


图12 折叠后的无人机机架实物图

D. 使用 5.8g 图传、1000mw 发射机和搭载相机的三轴开源云台作为图传系统。



图13 三轴云台和相机



图14 飞行时地面屏幕接收到的画面



图15 飞行时相机接收到的画面



图16 无人机拍摄的电塔

E. 对于充电桩完成了模型设计：中央凹陷部分放置标志物，方便无人机在空中时通过标志物识别及时找到充电桩。两旁的滑槽底部有贴片充电装置，同时，斜面设计是在无人机降落时，对其机架的固定操作，方便其滑至正确位置，从而能够进行更快速的充电。上表面其他部分有太阳能充电板，在阳光充足时，给下方底座内部的两层蓄电池进行充电，存储足够电量后，对无人机进行充电，模型图如下：

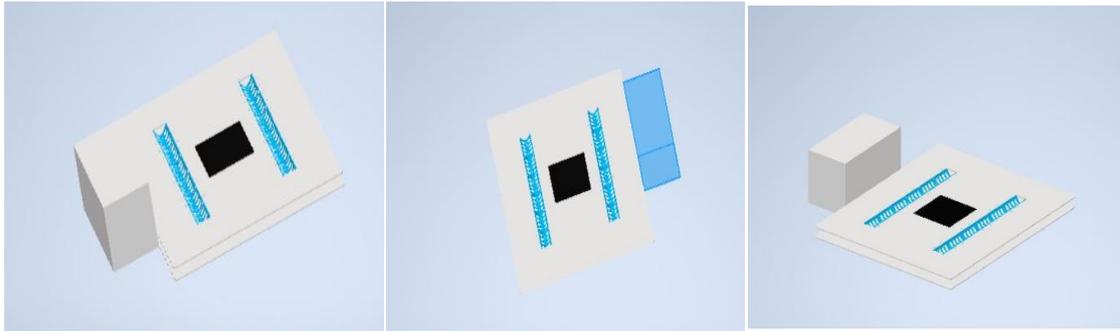


图 17 充电桩模型三视图

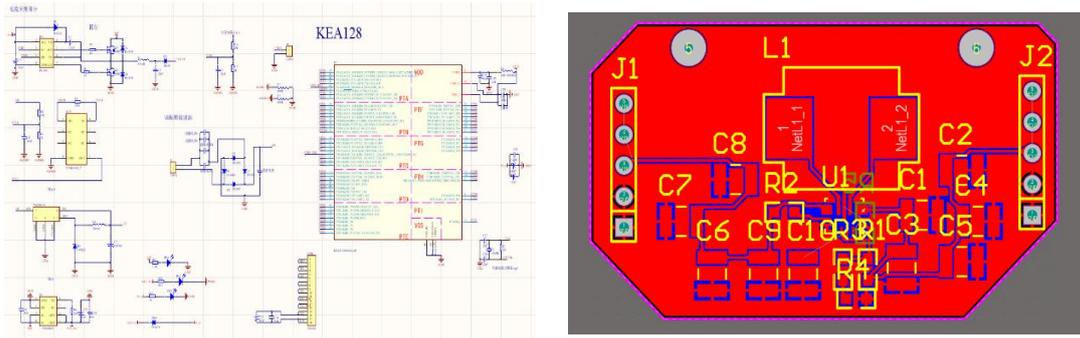


图 18 充电桩原理图与 PCB



图 19 充电桩模块与无人机交互示意图

F. 机械臂采用了双关节两夹式的机械臂，对机械臂完成了相应的调试，能够满足本项目对于夹取的要求，绘制了以控制机械臂为主要目的的主控板原理图，实物图和原理图如下：



图 20 无人机搭载机械臂

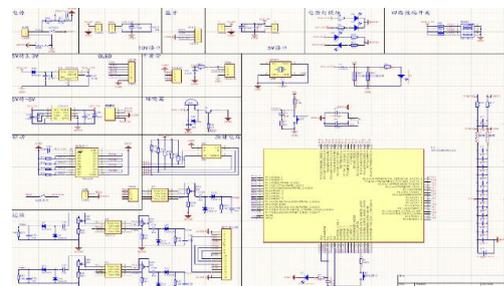


图 21 以控制机械臂为主要目的的主控板原理图

G. 控制、供电系统交互

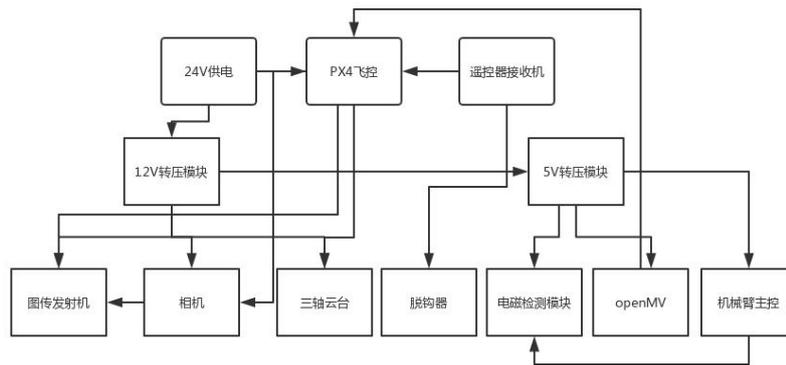


图 22 控制、供电系统

#### 4.2 软件方面

A.图像传输，使用 Open MV 进行图像传输，将摄像头得到的数据传输至开发板上，已完成对于程序的编写和实物的测试

C.飞行控制，已经完成了对于无人机飞行姿态的调整，能够进行平稳飞行

D.采用并调试成功双北斗定位

E.已完成对充电桩识别程序的编写

方案 a 使用 Opencv 编写，再移植进单片机



图 23 对图像二值化处理



图 24 识别二维码位置

方案 b 使用 Openmv 中的 AprilTag Tracking 标记跟踪功能

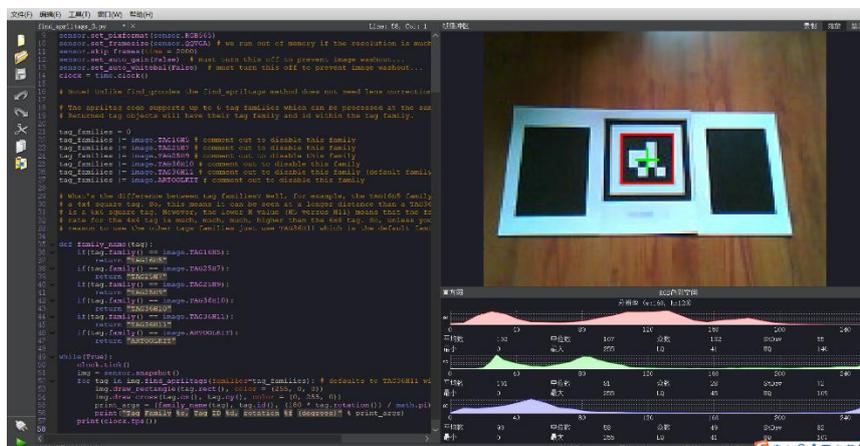


图 25 使用 Openmv 中的 AprilTag Tracking 标记跟踪功能模拟着陆充电桩

F. 通过数传和地面站软件实现了无人机的定点自动巡航



由于机器性能以及时间所限，只使用了总体样本中的一部分，而且并未打开一些优化参数。我们用测试集的几张图片进行识别，发现预测结果已经相对精准。同时，还可以直接对存在缺陷的绝缘子进行分类，比如可以很好的识别绝缘子残缺问题。同时，为了进一步测试模型的实际识别能力，在学校范围内找到了一些绝缘子，拍照进行识别，具体效果尚可。未来可以使用 GPU 加速，加大数据量，加入优化函数得到性能更佳训练模型。



图 28 学校内绝缘子

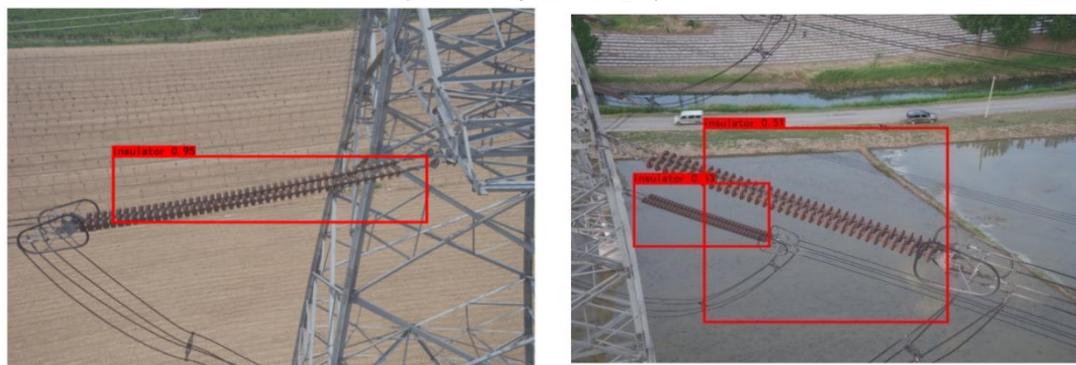


图 29 分析结果预测示意图

部分代码见附录

## 5 特色与创新

目前电网公司输电线路巡检仍然以人工巡检为主，随着无人机技术的飞速发展，无人机在电力行业的应用越来越广，却仍然离不开人的操控。

我们研究的特色在于：对于基于图像识别技术的 MBSE（基于模型的系统工程）电力巡检无人机系统进行研究与设计，解决当前无人机巡检的重点与难点——线路检测技术，通过模块化的设计，以视觉传感器来接收光信号，对高压电网器械存在的安全隐患进行识别、检测与分析，得出电网问题出现的位置并反馈给监测站，帮助监测者通过无人机携带的图像采集设备，及时发现电网问题的出现位置并修复。

我们研究的创新点在于：一是采用图像识别模块的设计，提升巡检图片处理分析的自动化程度，降低劳动强度，提升工作效率。二是解决无人机续航问题，研究采用飞行续航平台系统（充电桩），在航线上安设充电平台，使无人机最大航程得到了极大的提升；三是从维护及升级的角度，基于 MBSE 的设计使得日常维护可以通过更换部件来解决，免去了传统的一体整机式无人机维护的不便。

## 6 项目成就

项目执行标准：DL/T 1782，架空输电线路无人机巡检作业技术导则，巡检范围包括杆塔、绝缘子、拉线、防雷等。项目实施到现在经过了1年多的时间，团队获各类科创类奖项近二十项，其中国家级奖项十余项。本项目入驻校园创业园，并有一项国家专利进入实质审查，获各类奖金近二十万元。

## 7 经费使用情况

材料	单价（元）	数量（件）	合计（元）
一代工程样机	1130	1	1130
二代工程样机	1130	1	2580
航模电机	149	12	1788
电流计模块	202	1	202
机架	789	2	1578
飞控套装	270	2	540
机械臂	230	1	230
航模遥控器	780	1	780
北斗导航系统带罗盘模块	125	1	125
图传显示屏接收机	355	1	355
图传发射机	320	1	320
航模无人机云台	249	1	249
航拍相机	479	1	479
多轴电调	59.9	6	359.4
锂电池	196	1	196
多轴正反桨	55	6	330
多旋翼固定翼四轴航模锂电池	488	1	488
电机插头	1	20	20
XT60 插头	2	公头 1 母头 1	4
电池扎带	1.8	2	3.6
电压报警检测器	9.8	1	9.8
稳压输出模块	23	1	23
铝质北斗支架	15	2	30
智能摄像头	398	1	398
工具（焊枪热风枪热缩管等）	280		
pcb 制板	100	1	100
3d 打印	235		
合计	12552.8		

---

### 参考文献

- [1] 陈家林, 包谛, 牛炯, 陈震. 基于 FPGA 的四旋翼无人机综合教学实验平台设计[J]. 教育教学论坛, 2019(39):266-267.
- [2] 陈静. 图像处理技术在无人机电力线路巡检中的应用[J]. 信息与电脑(理论版), 2019(15):7-8.
- [3] 陈文浩, 姚利娜, 李丰哲. 无人机电网巡检中的绝缘子缺陷检测与定位[J]. 计算机应用, 2019, 39(S1):210-214.
- [4] 鲁杰, 侯力枫, 宋新利. 无人机电力巡检视觉避障技术研究[J]. 数字通信世界, 2019(05):106.
- [5] 赵文一. 无人机视觉辅助自主降落系统研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2018.
- [6] 曾聪. 基于视觉反馈的微型四旋翼飞行器自主着陆系统研究及应用[D]. 武汉科技大学, 2018.
- [7] 何松. 基于 FPGA 器件的多传感器无人机航向控制[D]. 福建工程学院, 2018.
- [8] 唐泽亮, 吴永明. 无人机电力巡检中定位绝缘子的方法[J]. 机电工程技术, 2017, 46(08):172-176.
- [9] 马青岷. 无人机电力巡检及三维模型重建技术研究[D]. 山东大学, 2017.

---

# 基于神经网络的 BLE 室内辅助北斗定位系统

作者：樊欣、张楠楠、温荣鑫

指导教师：张峰、赵黎

学校：西安工业大学

---

**【摘要】**：目前，北斗三号全球卫星导航系统已正式启动服务，“十四五”期间推进北斗融入各行业应用，北斗迈向毫米级精准定位，北斗导航系统开始正式的为全球各地提供高精度，高稳定性的定位导航服务，但在厚重遮挡或恶劣条件下，位置定位偏差大、导航信号弱、无信号也时常发生。本次设计正是基于该背景下对北斗服务的再次开发，对室内定位相关技术进行深入研究，将基于蓝牙低功耗（Bluetooth Low Energy, BLE）室内指纹定位技术和 Android 平台软件开发技术结合应用于北斗定位当中，形成基于室内定位的定位系统，完成定位算法研究和定位端 Android 平台软件设计，可以弥补北斗室内定位不准确、室内信号弱、定位速度低等问题，解决最后一公里的问题。

**【关键词】**：室内定位；Android；BLE；RSSI；神经网络；

**【Abstract】** At present, the Beidou 3 global satellite navigation system has been officially launched service, during the \"fourteen five\" to promote the Beidou into the industry application, Beidou towards millimeter precision positioning, Beidou navigation system began to officially provide high precision, high stability of positioning and navigation services around the world, but in thick cover or bad conditions, positioning deviation, navigation signal is weak, no signal also often happen. The design is based on the background of the Beidou service development again, in-depth research on indoor positioning related technology, will be based on bluetooth low power consumption (Bluetooth Low Energy, BLE) indoor fingerprint positioning technology and Android platform software development technology combined with the application of positioning, form a positioning system based on indoor positioning, complete positioning algorithm research and positioning terminal Android platform software design, can make up for indoor positioning is not accurate, indoor signal is weak, low positioning speed, solve the problem of the last kilometer.

**【Key words】** Indoor positioning; Android; The BLE; RSSI; Neural network

---

## 1 绪论

### 1.1 背景及意义

随着无线通信技术与物联网技术发展迅速，北斗定位发展迅速，但在厚重遮挡或恶劣条件下，北斗位置定位偏差大、导航信号弱、无信号。社会经济的飞速发展及人们生活水平的提高,使得我们对室内的定位导航需求越来越大。

因此，如何能够提升室内定位的精确度，设计一个可靠性高的室内定位系统就成为了在设计工作中的关键问题。本文将根据室内指纹定位的实际需求，将北斗的粗定位和基于蓝牙高精度室内指纹定位技术和 Android 平台软件开发技术结合应用于室内指纹定位系统当中，形成一套完整的室内指纹定位系统，

完成室内指纹库定位算法的研究和定位端 Android 平台软件的设计，实现室内的精准定位，同时也能利用蓝牙辅助北斗在信号不好时的定位。

## 1.2 主要研究内容

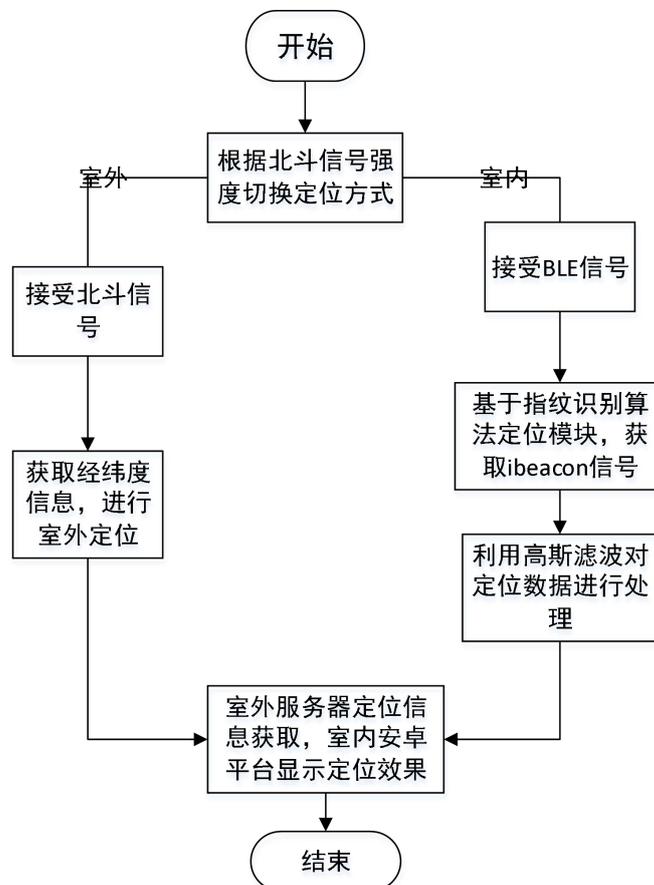
首先，接受北斗信号，进行粗定位，通过 STM32F104 发送至服务器，然后结合基于蓝牙指纹库的室内定位技术和 Android 平台软件开发完成精准定位。室内蓝牙指纹定位系统的定位端在 Android 平台上进行开发，通过 JAVA 语言对程序进行编写。本程序中的数据存储部分采用轻量型数据库 SQLite 来实现，室内定位系统的定位端部分的程序设计完成以后打包生成 APK 格式文件，可以直接在 Android 平台的设备上安装，实现对定位目标的定位，设计内容如下：

1. 完成模块设计方案的分析及确定；
2. 室内定位数据处理算法研究；
3. 室内定位软件系统设计与实现；
4. 完成测试与实验平台的搭建。

## 2 研究方案与设计

### 2.1 研究方案

首先，接收北斗信号，通过 STM32F104 读取北斗模块的经纬度信息，将其发送至服务器端，进行粗定位，如果信号强度大的室外空间，直接进行北斗定位，但由于北斗信号在室内受到影响较大，室内定位不准确，所以本文将北斗定位与 BLE 指纹定位进行结合，改进了定位效果，实现辅助北斗进行精准室内定位。研究方案流程图如下：



## 2.2 功能需求分析

本设计研究的是一个辅助北斗室内定位不准确的系统,系统在指纹定位算法基础上,充分利用低功耗蓝牙的优势,将其应用到定位系统中,最终获取更加精准的位置信息。

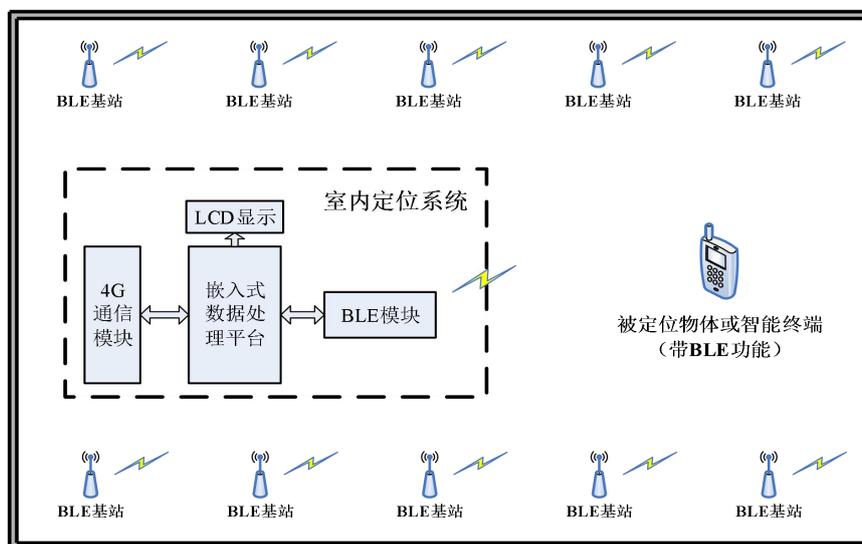


图 1 辅助北斗室内定位系统整体框图

## 2.3 设计方案分析

以功能需求分析的结果为基础,按照课题的要求完成系统方案的设计。系统共分为 4 大核心模块:

- (1) 北斗模块: 通过北斗模块获取经纬度信息,进行粗定位。
- (2) BLE 基站: BLE 基站作为室内定位系统的信标节点,通过在室内空间部署 BLE 基站,覆盖整个定位区域。
- (3) 智能终端: 主要安装在安卓系统的手机上,是人机界面的显示和操作,主要是用户输入定位请求,并查看定位结果。也是检测部署的 AP 并采集 AP 的信号强度,发送采集的信号强度和定位请求,并接收定位结果。
- (4) 室内定位服务系统: 室内定位服务系统通过网络与客户端实现通信,响应客户端发送的定位请求信息。

本题目完成系统中核心的定位功能的设计,包括信标节点的布局设计,定位坐标计算算法计及实现,定位信息显示功能的设计。

辅助北斗室内定位的系统将基于蓝牙指纹库的室内定位技术结合 Android 平台软件开发完成系统中定位端的设计与开发。室内蓝牙指纹定位系统的定位端在 Android 平台上进行开发,通过 JAVA 语言对程序进行编写。本程序中的数据存储部分采用轻量型数据库 SQLite 来实现,室内定位系统的定位端部分的程序设计完成以后打包生成 APK 格式文件,可以直接在 Android 平台的设备上安装,实现对定位目标的定位。

## 3 室内定位数据处理算法研究

### 3.1 硬件与设备选型

整个系统硬件主要分为北斗模块,Android 手机,PC 机,iBeacon。

- a、北斗模块作为获取经纬度信息进行粗定位;

- b、Android 手机主要负责无线信息的采集与传输并处理数据;
- c、PC 机主要实现室内定位服务器系统对数据库进行维护;
- d、iBeacon 作为室内定位系统的信标节点。

### 3.2 室内定位数据处理算法研究

本文的室内定位主要采用基于加权反向神经传播模型的室内定位算法，关于其神经网络的模型简单展示如下：

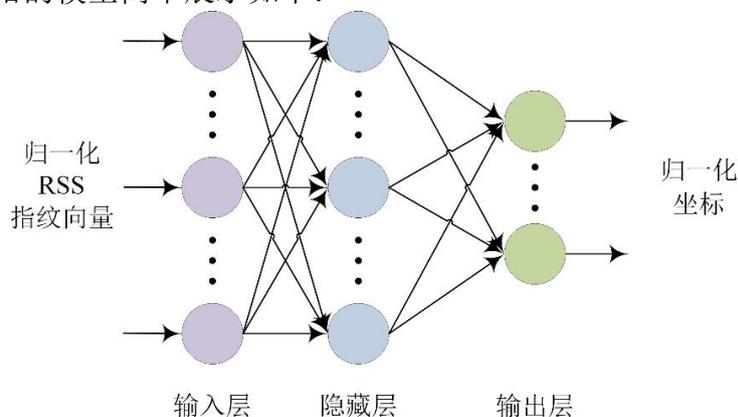


图 2 神经网络模型结构

图所示为定位预测模型中的三层的神经网络模型结构：

输入层： $N_{RP}$ 个神经元，取决于指纹向量的维度，输入层是归一化的指纹向量。

隐藏层： $N_h$ 个神经元，该参数一定程度上代表着神经网络模型非线性映射能力，并且与输入层与输出层的神经元个数相关，具体设置取决于训练过程。若该参数设置过大，该模型则很有可能发生过拟合，反之，则会欠拟合。而这两种情况都不能很好地完成神经网络模型的功能。

输出层：输出层的神经元个数与预测位置的坐标的维度相同。

### 3.3 “蓝牙室内定位”APP 管理系统的设计

“蓝牙室内定位”APP 管理系统可显示所有采集点的位置信息数据，本文拟用 iBeacon 信标进行位置信息的测量，故本 APP 上开发的功能也有 iBeacon 信标采集的位置强度值，即 RSSI 值。服务器通过计算和比较测量点和库中的位置信息，得出最终的目标位置信息。

APP 的功能示意图如图 3 所示：

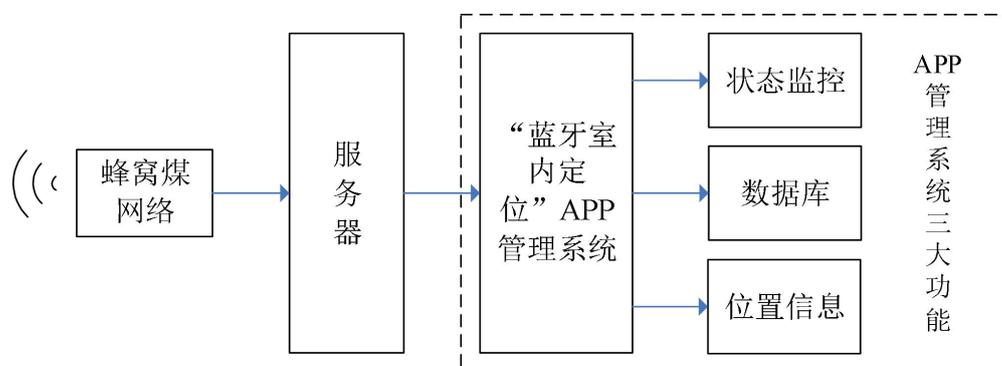


图 3 “蓝牙室内定位”APP 功能示意图

## 4 室内辅助北斗定位软件系统设计与实现

### 4.1 系统整体构架

C/S（客户端/服务器）体系结构是一种典型的软件设计模式。该系统的客户端为安装在 Android 移动终端设备的应用程序，而服务器端搭载在 PC 机上，两者通过通信实现信息交换和任务共享，如图 4.1 所示。

在论文的 BLE 指纹室内定位系统中，移动客户端在智能设备上运行，服务器建立在 PC 机上。

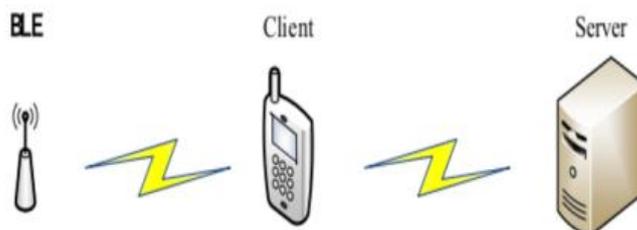


图 4-1 整体软件流程图

### 4.2 系统功能设计

系统监测端软件应用程序主要分为：用户登录部分、室内各个蓝牙节点的数据接收显示部分、绘制定位物体位置视图部分，室内定位算法的实现部分以及室内模拟显示界面、蓝牙衰减值数据存储部分等，远程 Android 监测端各部分的布图如下图 4.2 所示：

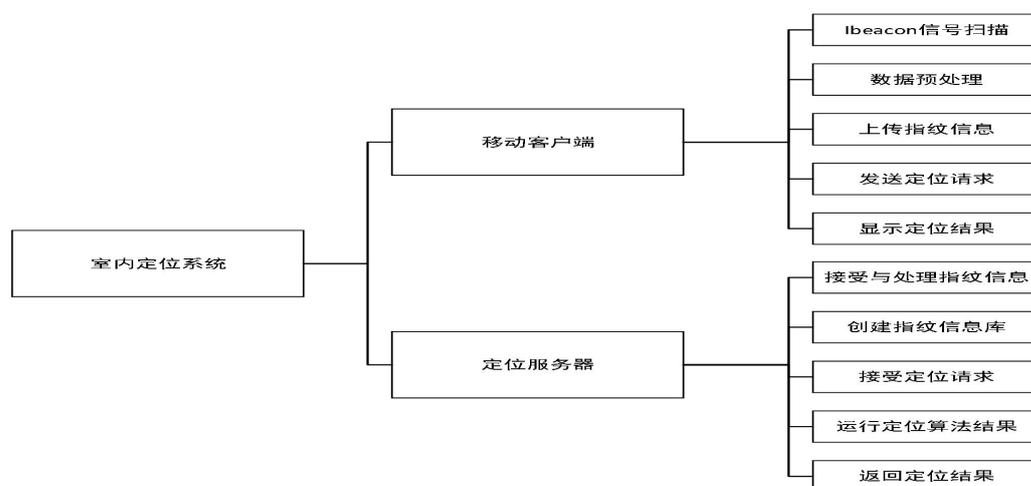


图 4-2 定位系统功能示意图

#### 4.2.1 移动客户端功能设计

BLE 指纹室内定位系统实现定位的第一步就是无线信号的获取，并从中解析出相应的数据信息，为创建指纹数据库奠定了基础。移动客户端的功能主要包括获取 iBeacon 信号，上传指纹信息，发送定位请求以及显示定位结果。移动客户端功能示意图如图 4.3 所示。



图 4-3 移动客户端功能设计

#### 4.2.2 服务器功能设计

定位服务器主要是用于指纹库的建立和指纹识别算法的实现。第一，通过移动客户端获取的数据上传到服务器建立指纹库。第二，启动该系统随时监听来自客户端的指令，做出相对应行为实现相应的功能。功能模块如图 4.4 所示。

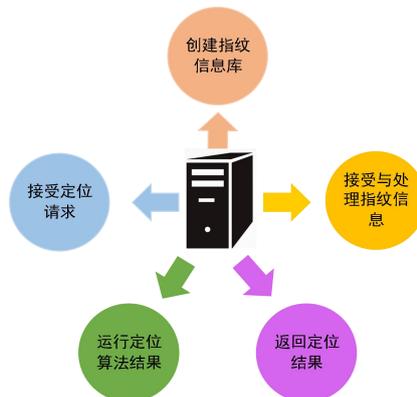


图 4-4 移动客户端功能设计

### 4.3 系统功能实现

本系统主要由客户端和服务端两个部分组成,移动客户端运行在 Android 操作系统平台的移动设备上，而定位服务器运行在 Linux 操作系统上。

#### 4.3.1 移动客户端

本系统的移动客户端的开发平台是 Eclipse 软件，并结合相应插件 ADT 和 JDK 搭建应用程序开发环境。客户端的模块主要分为:登录验证模块，iBeacon 信息采集模块，指纹库模块以及定位显示等模块。

##### (1) 登录模块

目前，传统的客户端的设计模式中，通常需要设置访问者资格验证以提高系统的安全性。对于首次使用该系统的人员进行注册以及存储用户信息，将传输并保存在定位服务器中的用户信息数据库。客户端的注册登陆界面的页面布局可以通过后缀为 XML 的文件来进行页面布局，输入用户名和密码采用 EditText 方法。室内定位系统客户端登录界面如下图 4.5 所示：



图 4-5 系统客户端登录界面

定位端登录界面主要完成用户信息的注册、存储，通过登录信息的注册方便用户下一次的登录，查看目标物体的状态信息。

### (2) RSSI 信息采集

RSSI 信息采集部分主要是实现对 iBeacon 的 RSSI 等信息的获取。市面上智能设备种类繁多且只有在 Android 操作系统 4.3 以上版本的智能设备支持 BLE 功能。在此基础上，通过调用库函数,实现 RSSI 的显示和读取。如图 4.6 是智能

终端采集 RSSI 流程图

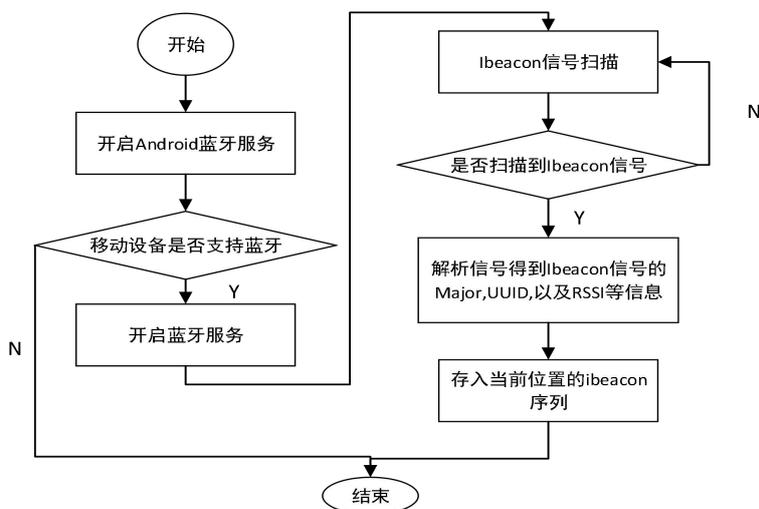


图 4-6 iBeacon 信号采集流程图

### (3) 定位显示界面

移动客户端中的定位显示界面主要实现了客户端上定位对象的虚拟仿真显示，主要包括定位对象在定位区域的相对位置及其坐标。根据当前移动客户端获取的信号强度值信息，对定位服务器中的数据库应用合适的定位算法，计算出数据匹配度，最后通过定位显示界面显示结果。定位显示界面如图 4.7 所示。



图 4-7

### 4.3.2 服务器

定位服务器的平台的开发采用 J2EE 架构，主要应用了 Java Servlet 组件、Socket 技术以及 Hibernate 框架。定位服务器的编程语言是 Java，服务器开发平台是 Windows 8 64 位操作系统，数据库是 MySQL，开发软件是 Eclipse，Web 服务器软件是 Apache。

#### (1) 数据库

根据系统功能设计数据表 3 张，分别是 ibeacon、ibeacondata 和 user。系统数据表整体目录结构如图 4.8 所示。



图 4-8 数据表结构

Ibeacon 数据表是存储 iBeacon 的主要信息的，包括 ID、mac、uuid、mpower、minor、rssi 等信息。如图 4.9 所示。

ID	mac	uuid	major	minor	rssi	
1	7C:01:0A:6F:77:89	17B fda50693-a4e2-...	36B	10	7	-73
(Auto)	(NULL)	OK (NULL)	OK	(NULL)	(NULL)	(NULL)

图 4-9 ibeacon 数据表

ibeacondata 是测试环境中指纹点 RSSI 信息表并存储在服务器上，包括 ID、X、Y、RSSI1、RSSI2、RSSI3、RSSI4、RSSI5、RSSI6、RSSI7、RSSI8、RSSI9 等信息。如图 4.10 所示。

ID	X	Y	RSSI1	RSSI2	RSSI3	RSSI4	RSSI5	RSSI6	RSSI7	RSSI8	RSSI9
1	0	1.2	-62	-71	-74	-75	-75	-77	-78	-82	-75
2	0	1.7	-68	-67	-70	-68	-71	-80	-83	-79	-79
3	0	4.7	-69	-67	-70	-70	-72	-72	-76	-74	-69
4	0.5	1.2	-41	-63	-74	-58	-70	-67	-73	-68	-73
5	0.5	1.7	-57	-70	-73	-64	-66	-71	-79	-77	-79
6	0.5	4.7	-62	-52	-73	-71	-73	-67	-68	-73	-89
7	1	0	-48	-68	-72	-62	-69	-78	-73	-77	-77
8	1	0.5	-40	-65	-77	-66	-78	-78	-73	-74	-80
9	1	1	-51	-62	-72	-68	-68	-81	-83	-88	-82
10	1	1.5	-55	-69	-74	-73	-74	-78	-76	-89	-79

图 4-10 指纹库中指纹点的数据表

user 是用户信息表。主要包括 user\_id、user\_name、user\_password、user\_state 等信息。如图 4.11 所示。

user_id	user_name	user_password	user_state
1	kang123	123456	1
(NULL)	(NULL)	(NULL)	(NULL)

图 4-11 用户信息数据表的实现

### (2) 位置指纹库管理

位置指纹数据库管理模块主要实现服务器中指纹数据库中数据的管理。离线构建数据库时，移至客户端获取每个 iBeacon 的 RSSI 数据，将 RSSI 集上载到定位服务器，并将其存储在数据库的 iBeacondata 表中。服务器中的指纹数据的增删的基本操作如图 4.12 所示。

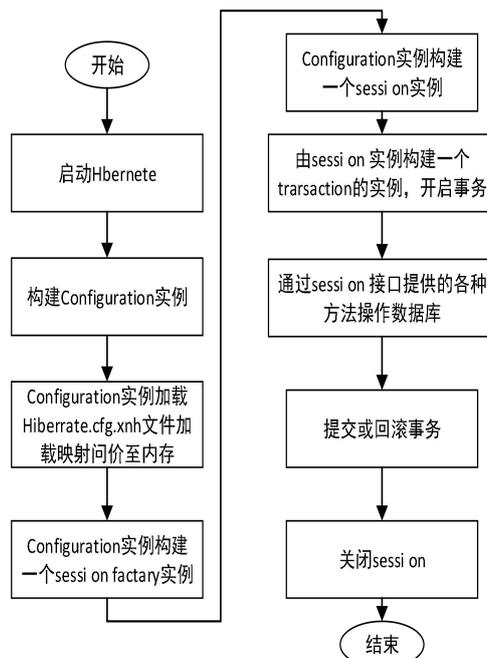


图 4-12 服务器对指纹库操作流程图

### (3) 数据通信

服务器和客户端首先创建自己的 Socket，客户端根据提前指定好的端口号和 IP 地址发送会话请求，一直处于监听状态的服务器通过 `accept()` 方法接受请求建立会话，也就是所谓 IO 流。移动客户端发送当前获取的位置信息的数据，服务器通过该链接接受并进行相应的处理，信息传输完以后通过 `close()` 关闭 Socket 并释放资源，如图 4.13 所示。

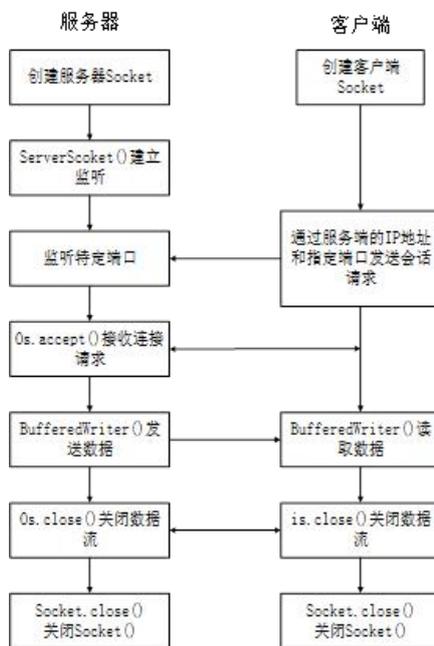


图 4-13 服务器与客户端通信流程图

## 5 辅助北斗室内定位 BLE 系统测试结果与误差分析

### 5.1 测试环境搭建

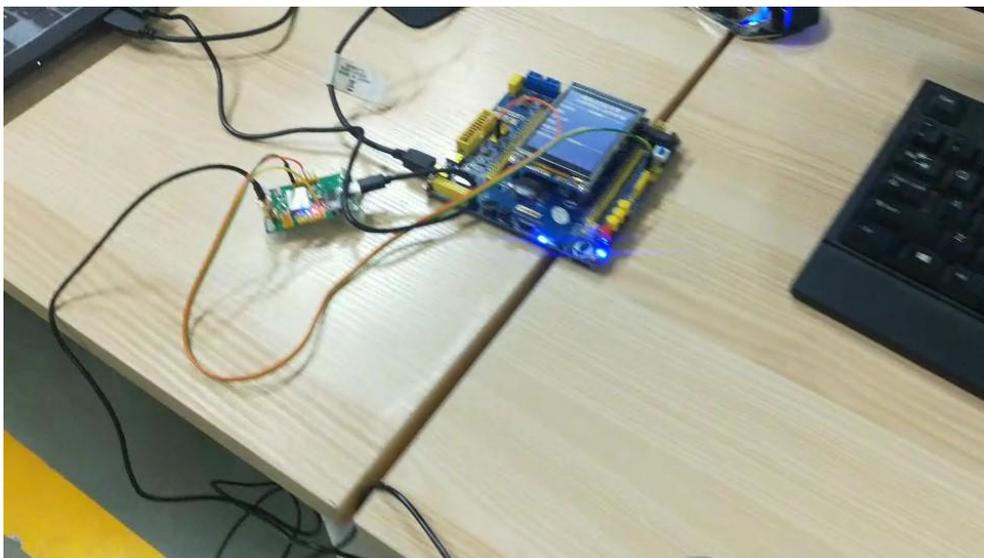


图 5-1 STM32F104 与北斗模块搭建

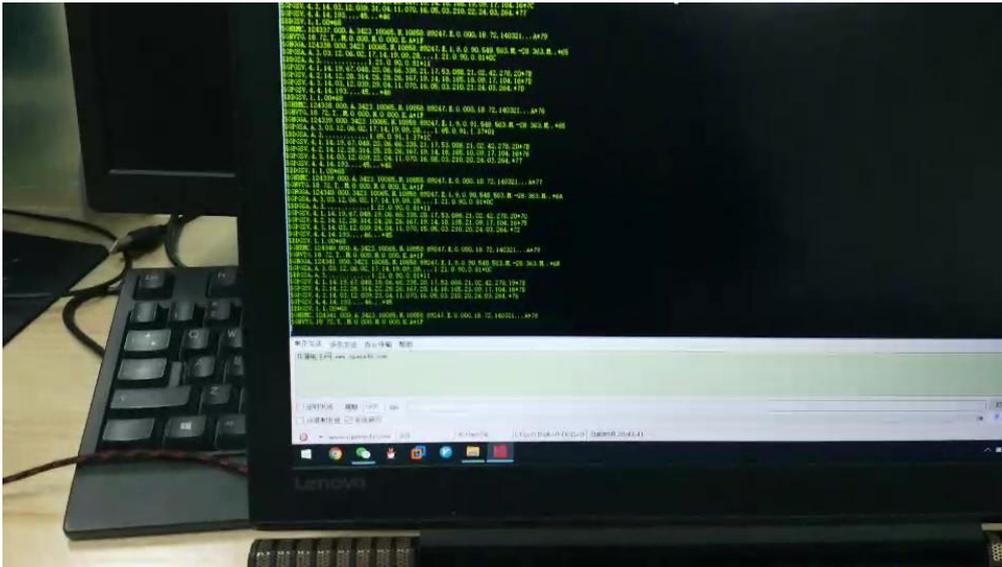


图 5-2 数据结果显示



图 5-3 iBeacon 布局图

BLE 指纹室内定位系统的测试选择学科实验室环境进行测试系统平台搭建，实验环境实景图如图 5.4 所示，平面图如图 5.5 所示。整个室内定位区域是按照  $0.5*0.5$  的规格划分成网格，以网格形式进行指纹点采集 RSSI 数据建立离线指纹数据库。测试试验中，指纹点共 232 个，实验环境中布置 9 个 iBeacon，如图 5.4 所示。测试实验的具体参数如表 5-1 所示。



图 5-4 系统测试实验环境实景图

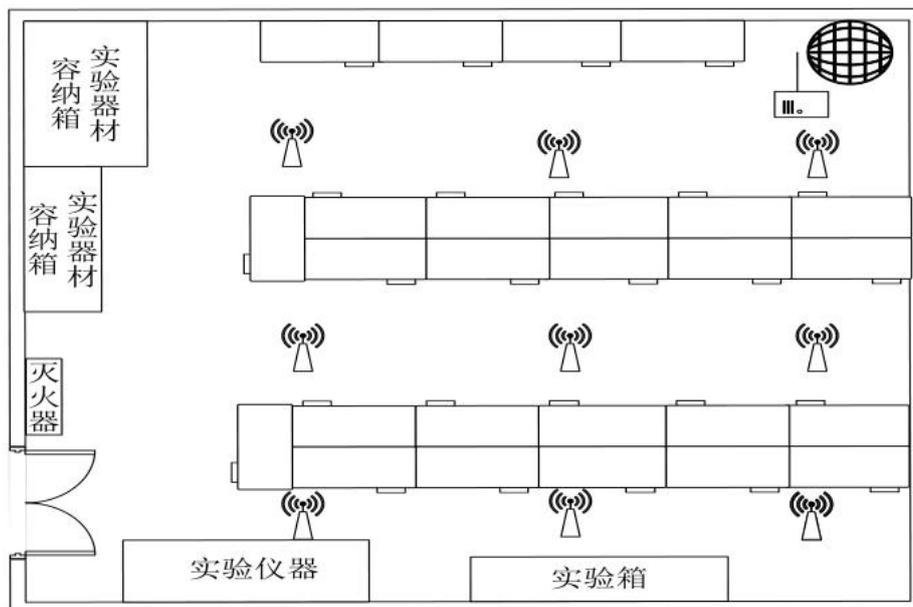


图 5-5 系统测试实验环境平面图

表 5-1 测试实验环境相关参数设置

参数名称	参数
试验场地的实际大小	8.5m*7.5m
Ibeacon 信标节点数目	9 个
指纹采样距离间隔	0.5m*0.5m
指纹采样点垂直高度	1m
指纹采样点数目	233 个

采集到的指纹室内定位 RSSI 数据存入系统服务器中的数据库中，并对采集的数据进行插值处理，以提高指纹点的密度程度。

## 5.2 系统功能测试

### 5.2.1 离线采集阶段功能测试

将该系统的移动客户端 APP 安装到移动终端并运行。移动客户端显示登录/注册界面，如图 5.6 所示。验证用户身份后，可以进入功能选择界面，如图 5.7 所示



图 5-6 用户登录/注册界面图

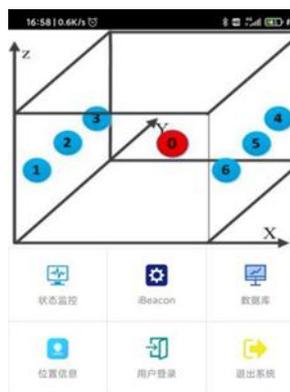


图 5-7 移动客户端功能选择界面

在获取各指纹点的 RSSI 指纹数据时，需要提前开启智能终端的 BLE 功能。通过扫描定位区域 BLE 基站中每个 iBeacon 的信息，获取各个指纹点 RSSI 数



图 5-8 Beacon 扫描界面

据，如图 5.5 所示。该图是当前位置各个 iBeacon 的具体信息，主要信息包括 MAC 地址、iBeacon 模块的识别码 UUID（Universally Unique Identifier）、RSSI 值和距离等信息。移动客户端中数据库界面是将离线状态下所创建的离线指纹库导入移动客户端显示出来，如图 5.9 所示



图 5-9 BLE 定位系统指纹库数据

### 5.2.2 在线定位阶段功能测试

BLE 指纹室内定位系统的实时定位模块主要向用户提供实时位置服务。用户经过验证身份后进入该系统的功能选择界面，其中的定位显示界面的功能主要为用户提供室内模拟仿真定位服务，可通过该界面来获得自己所在的位置，图 5.10 为定位结果显示。将移动终端放入需要定位的范围内并且蓝牙处于开启状态，打开移动终端的状态监控模块后，会显示当前需要定位目标的实时坐标，定位信息的变化随着被定位目标的改变而改变。

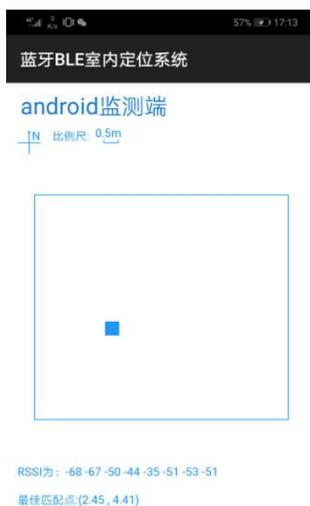


图 5-10 定位显示示意图

## 6 结论

论文在对北斗定位相关技术研究分析的基础上，设计出北斗与低功耗蓝牙神经网络算法相结合的智慧室内定位系统，利用室内部署的 BLE 基站获得 ibeacon 中 RSSI 值的位置数据库，根据神经网络的训练结果得出准确的离线位

---

置数据, 使用者利用开发的“蓝牙室内定位”APP 可实时查看自己的所属位置, 即可及时对目标位置做出相应的方向调整, 有效提高了寻路者的寻路效率。

通过相关研究, 可以得到如下的一些结论:

(1) 将 Android 开发技术与 BLE 技术应用辅助北斗室内定位中, 可以降低系统的成本, 而且还具有低功耗、灵活性高等特点, 是一种可行的并且性价比较高的设计方案。

(2) 通过引入高斯滤波算法对 RSSI 指纹数据进行预处理, 可以有效抑制信号的波动来确保数据的稳定性和可靠性。

(3) 利用神经网络算法对指纹库进行优化, 可以减少实时定位时数据的运算量, 提高定位的效率, 在一定程度上提高了定位的准确度和精度。

本作品基本实现了预期的功能, 但受限于研发条件的限制, 在现实环境中 APP 中的位置信息标记点会有所跳动, 希望后期研发过程中可以继续改进, 另外可增加道路规划等语音及线路导航等功能, 使此作品更加的智能化。

### 参考文献

- [1] 甘露. 基于卷积神经网络的视觉定位系统的设计与实现[D]. 中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所), 2019.
- [2] 基于图像处理和神经网络的低成本四轴飞行器室内定位系统[J]. 无线电工程, 2018, 48(09):759.
- [3] 刘翠梅. 神经网络算法在船舶动力定位系统中的应用[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(02):46-48.
- [4] 罗利. 基于 Android 的 WIFI 室内定位技术研究[D]. 西南交通大学, 2014.
- [5] 刘祺, 朱秋月, 冯莎. 室内定位技术的研究综述[J]. 计算机时代, 2016, (08):13-15.
- [6] 李延. 基于 RSSI 测距的室内定位技术研究[D]. 中南林业科技大学, 2015.
- [7] 孙永亮. 基于位置指纹的 WLAN 室内定位技术研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2014.
- [8] 万志江. 智能空间中基于电源线和位置指纹的室内定位技术研究[D]. 北京工业大学, 2014
- [9] 许齐. 基于 RFID 的室内人员定位系统设计与研究[D]. 湖南大学, 2015.
- [10] 徐平, 沙从术, 赵芳杰. BP 神经网络在射频识别定位系统中的应用研究[J]. 电子技术应用, 2016, 42(02):64-67.
- [11] 衣凡, 王磊, 李博, 余尚禹. 基于人工神经网络的半潜平台动力定位系统推力分配策略研究[J]. 海洋工程, 2019, 37(04):16-26.

---

## 伪距差双曲线室内定位原型系统方案

作者：盖文涛、杨从杰、黄宇昕

指导教师：张华

学校：西安电子科技大学

---

**【摘要】**：在发生大型公共安全事故时，人群疏散的效率将与避险结果直接挂钩，通过对背景和当前室内导航及北斗系统在公共领域的应用进行分析后，本文提出一种用户携带嵌入手环或头带的小型发信器，通过多个收信器分析得出伪距，根据伪距之差绘制双曲线图像，筛选交点得出位置的定位方式，并根据结果对比北斗地图及该室内的细化建模，用大数据分析的手段安排统筹大量用户短时间内的疏散路线并给予反馈。

收发信号的硬件方面上，考虑到伪随机码能提供大量不重复的载波频段且能较好地保护客户隐私，我们将其选为收发信号来传递信息。并以此为主搭建相关硬件设施。

此外，在无险情发生的日常情况下，这一系统仍能为用户带来商铺等特定位置的导航服务，不仅提高了设备的利用效率，也方便及时发现并排查设备问题。

**【关键词】**：北斗导航，人群疏散，伪随机码，大数据

**【 Abstract 】** At the very time of large-scale public safety accidents, the efficiency of crowd evacuation is directly linked to the results of risk avoidance. After analyzing the background and the application of the current indoor navigation and Beidou System in the public domain, this paper proposes a small transmitter with embedded bracelet or headband. The pseudo range is obtained through the analysis of multiple receivers, and the hyperbolic image is drawn according to the difference of the pseudo range to screen According to the results, compared with the Beidou map and the indoor detailed modeling, the evacuation routes of a large number of users in a short time are arranged and coordinated by means of big data analysis, and feedback is given.

In terms of hardware, considering that the pseudo-random code can provide a large number of non duplicate carrier frequency bands and better protect customer privacy, we choose it as the receiving and transmitting signal to transmit information. And build related hardware facilities.

During the normal days, this system can still provide users with navigation services in specific locations such as shops, which not only put this program into fully use, but also facilitates for the timely detection and troubleshooting of equipment problems.

**【 Key words 】** Beidou, Crowd Evacuation, Pseudo-random Code, Big Data

---

---

## 1 社会背景及当下应用发展

### 1.1 社会背景

在北斗导航系统完全成熟之前，基于导航的位置信息服务就已渗透到了人们生活的各个层面，在这个时代背景下，人们倾向于在寻路时寻求智能手机的帮助而非寻人问路，如今的导航软件所能提供的导航似乎已经足够满足人们的日常需求了，但当用户进入立体式的交通区域或是中心商业区时，这样的二维导航就开始显露出局限性了，不仅如此，位置信息的误差也会随着导航信号的减弱而急剧变化。在这样的情况下人们往往会使用传统的通过商店编号和楼层信息来寻找具体位置的方法，如此一来，相当大的一部分时间会被浪费在在重复寻路上，而在公共安全事故发生时，我们没有任何浪费时间的余裕，初来乍到的顾客很难在第一时间找到当前自身位置对应的最佳逃生路线并完成避难。2014年12月31日的上海外滩踩踏事件，就是由于人群疏散不当，人行通道阶梯出有人失衡跌倒，继而引发多人摔倒，叠压，最后导致38人死亡49人受伤。<sup>[1]</sup>不止国内，美国也在一场演唱会现场的火灾中死伤大量国民。除此以外，国内外大大小小的消防安全事故也已导致无数的普通百姓的无故丧命和消防官兵的无奈牺牲。而随着2020年4月北斗卫星建网的完成，我们团队也开始思考能否通过关联北斗卫星和室内定位来协助国家补足在公共安全人群疏散上的空当。

### 1.2 室内定位技术的国内与国际发展状况

虽然目前基于卫星的全球导航系统可以做到亚米级的精度，然而面对复杂的室内环境，这些系统无法提供准确的定位。因此开发高可靠性，高准确性室内定位技术已经成为刚需。<sup>[3]</sup>目前主流的室内定位技术主要由如下几种：Wifi定位技术，蓝牙定位技术，伪卫星定位技术，超宽带定位技术，惯性导航和地球磁场等。<sup>[4]</sup>其中由于惯性导航和地球磁场的方法存在较大误差，难以被单独使用，而Wifi和蓝牙定位技术的定位精度不够，在筛查各种室内导航的已有方案后，我们打算采用一种让用户自身携带发信器的定位手段，这一方法很好地解决了室内北斗信号弱导致的定位不准，同时也避免了成本过高的弊端。<sup>[2]</sup>首先让用户以手环或是头带的形式携带能够发射伪随机码的发信器，再在场馆中搭建一定数量的接收器，在发信器发射调制好的信号后，根据接收器所得电文解析的信息，利用伪距差获得用户位置从而达到较高精度的室内定位。

## 2 产品设计思路

### 2.1 总体思路

用户佩戴可以发射伪随机码的发信器，接收端使用三个事先排列好的接收器。接收器接收到信号后，通过翻译导航电文可以得到两两接收器与用户的伪距差，然后通过伪距差画出对应双曲线。通过求解双曲线的交点就可以得到用户的位置坐标。设计思路总过程如图1所示：

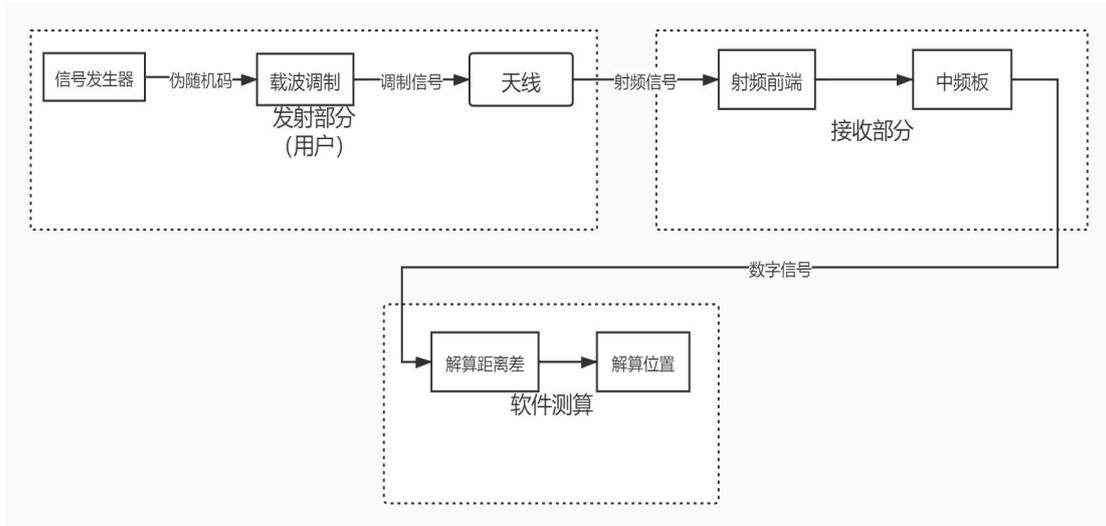


图 1 产品设计思路流程图

## 2.2 硬件设计

(1) 为了获得比较好的定位和导航结果，通过对比各类室内定位优缺点后，我们采用了伪卫星定位方法。

(2) 通过一个信号发射器以及三个信号接收器，将信号发射器固定在移动的用户身上。

(3) 信号发射装置将伪随机码信号和载波调制后，向外界发射调制后信号。

(4) 在接收器在收到导航信号后，在对导航电文进行捕获，对捕获的信号进行放大后，将所得高频信号转换成中频信号比较后可以得到接收器到两两接收器的距离差值。再根据对比各个接收器间的距离差，得出双曲线。

## 2.3 求解算法设计

(1) 以两个接收器为焦点，根据伪距差绘制双曲线，双曲线方程为：

$$\begin{cases} \frac{x^2}{x_1^2} - \frac{y^2}{l^2 - x_1^2} = 1 \\ \left( \frac{x-l}{2} \right)^2 - \frac{y^2}{x_2^2} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

求解两两双曲线间的交点，交点经求解后，x 坐标为：

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2)$$

$$\text{其中, } a = \frac{L^2}{X_1^2} - \frac{L^2}{X_2^2}, \quad b = \frac{L^3}{X_2^2} - L, \quad c = X_1^2 - X_2^2 - \frac{L^4}{4X_2^2} - \frac{L^2}{4}.$$

Y 坐标为

$$y_1 = \left( \frac{x_1^2}{X_1^2} - 1 \right) \cdot (L^2 - X_1^2), \quad y_2 = \left( \frac{x_2^2}{X_1^2} - 1 \right) \cdot (L^2 - X_1^2) \quad (3)$$

(2) 从所得几组双曲线图形的交点中筛查出合理的点，其中 3, 4 两解位于三四象限，由于接收器搭建于墙边，用户不可能出现在墙内，所以可以排除，再从 1, 2 两解中选取与伪距所得点差较小的解。

### 3 模拟分析

#### 3.1 模拟程序思路

通过对探测器 1 和 3、2 和 3 的探测结果两两作差得到两组双曲线的系数，确定两组经过被探测物体的双曲线方程，构成，再利用 matlab 软件的 solve 函数解方程组即可得到被探测物体的坐标。

本次模拟分析实验设置三个探测器在直线上等距离分布，间距为 5 个单位，并模拟仅探测器 3 的测量值产生不同数量级的误差时的情况。

由于参与解方程组的系数是探测器探测结果的差值，当被测物体远离探测器时，必然会导致三个探测器的测量结果十分接近，而使得测量结果的差值十分小，更易受到误差的干扰。因此可以预想到本系统的有效探测范围是有限的，只能在探测器周围一定半径之内才能够得到较为精确的目标位置。这里我们也选取了距离探测器不同数量级的目标进行模拟实验，以确定探测结果受误差影响的规律以及探测器可以较精确探测的有效范围。

#### 3.2 误差测算

本次模拟分析选取了三组数据，并通过修改探测器 3 的测量值模拟探测器 3 测量产生误差的情况，利用 matlab 软件计算误差下测出的被探测目标的坐标并与实际坐标进行比较，绘制出以下图表：

(1) 被探测物体的坐标： $X=1$ ， $Y=3$ ；探测器 3 的理论测出值=5，其误差如图 2 所示：

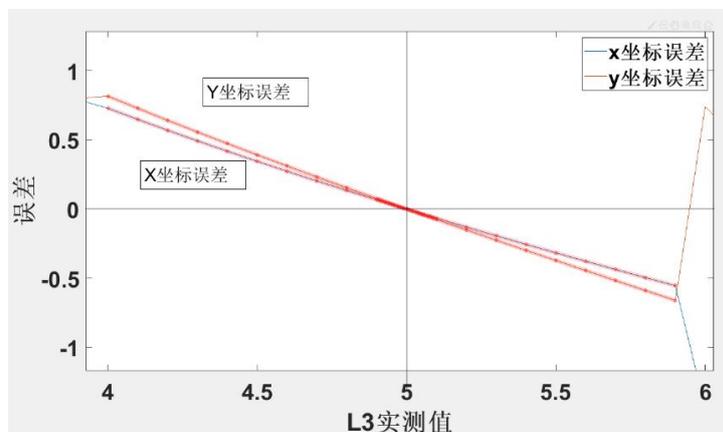


图 2  $X=1, Y=3$  误差图

由图可知，当被探测物体距离探测器很近时，在一定误差范围内测出坐标产生的误差与探测器测出值产生的误差成正比例关系，且比例系数很小，在探测器误差在  $\pm 1$  范围内算出的被测物体坐标误差都在  $\pm 1$  之内；当探测器误差在  $\pm 0.1$  范围内时，测出坐标误差也在  $\pm 0.1$  范围内，基本可以实现亚米级准确定位。

(2) 被探测物体的坐标： $X=-7$ ， $Y=9$ ；探测器 3 的理论测出值=15，其误差如图 3 所示：

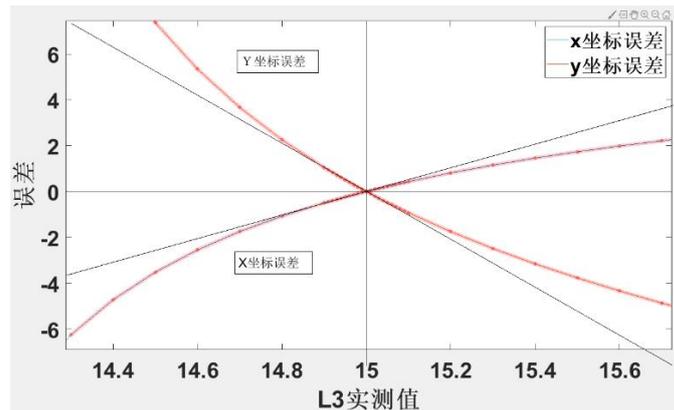


图3 X=-7,Y=9 误差图

由图可知，当被探测目标距离探测器稍远时，在一定误差范围内测出坐标产生的误差与探测器测出值产生的误差成负指数关系，而在 $\pm 0.2$ 范围内，探测器误差和坐标误差基本成正比例关系。

(3) 被探测物体的坐标  $X=-22$ ， $Y=36$ ；探测器 3 的理论测出值=45，其误差如图 4 所示：

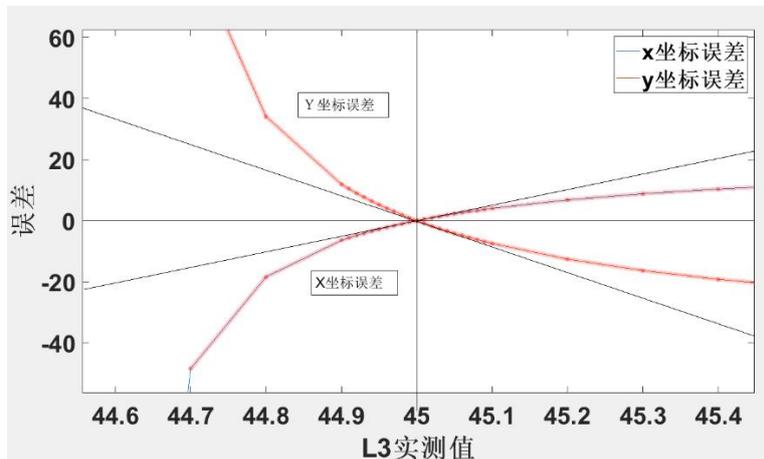


图4 X=-22, Y=36 误差图

由图可知，当探测器距离被测物体很远 ( $>30$  单位) 时，算出坐标误差即使在探测器误差 $\pm 0.1$  范围内也十分大 (比例系数超过 100)，系统基本上得不到有效的坐标数据，因此探测器探测范围有上限。

### 3.3 程序模拟结论

(1) 在探测器周围小距离距离内 (两倍的探测器之间最小距离)，探测器误差与推算坐标误差成线性关系，能在后期算法中排除。

(2) 当在探测器周围中等距离 (十倍的探测器最小距离)，在探测器误差为亚米数量级时，仍呈线性关系，也可以通过后期处理提高精度。

(3) 当距离探测器远距离后 (二十倍的探测器最小距离时)，推算坐标的误差相较于探测器误差已经达到十倍以上，测得坐标数据没有参考价值。

## 4 硬件实现

硬件设计主要包括发射模块和接收模块两个部分。

发射模块的主体部分由天线组成。

接收模块包含射频处理，中频处理，电源三个部分，总体设计如图 5 所示，调试过程如图 6 所示：

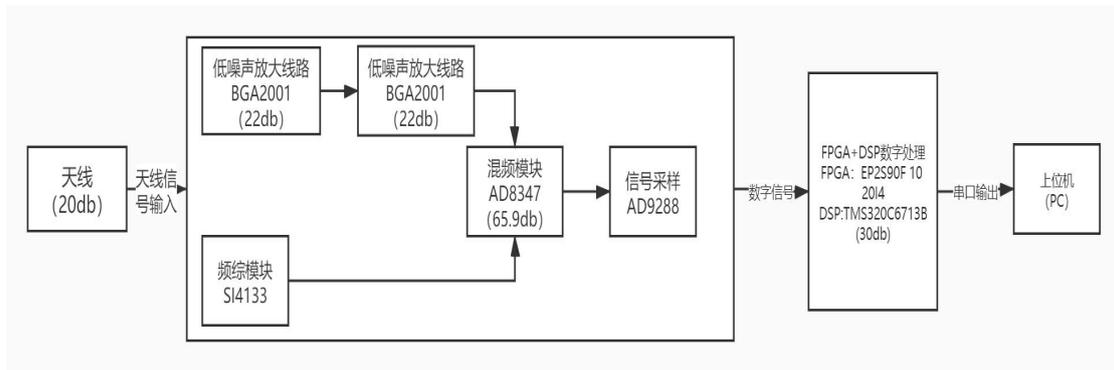


图 5 接收模块主要硬件

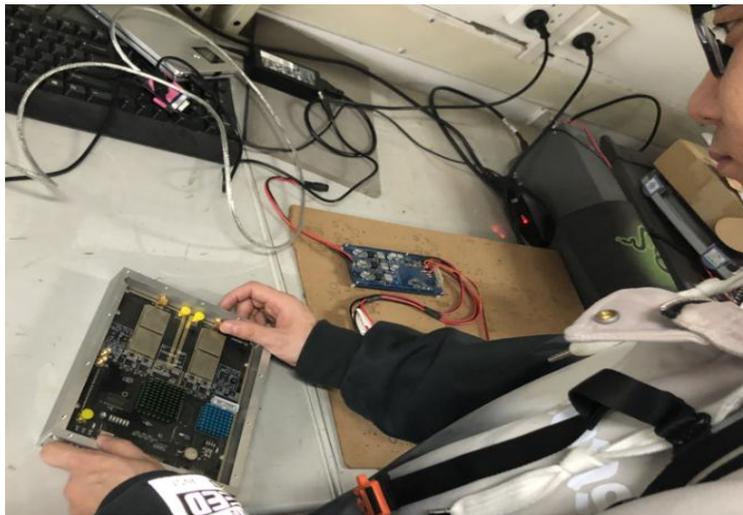


图 6 接收模块调试过程

#### 4.1 射频处理模块

射频板包含射频前端部分和信号采集部分。主要将天线接收到的高频信号转换成中频信号，并将中频模拟信号转化成数字信号。射频处理模块的实物如图 7 所示：



图 7 射频处理模块



## 4.2 中频板

中频板包含 DSP, FPGA 等信号处理解算芯片。主要将卫星信号解算出来, 实时对 GNSS 信号进行捕获、跟踪、定位解算。其设计采用 FPGA+DSP 的系统架构, 设计 2 通道 GNSS 接收信号处理平台, 能够兼容低中频、零中频、超外差的射频前端输出信号, 实时对 GNSS 信号进行捕获、跟踪、定位解算, 以及支撑复杂算法的研发与测试。

中频板的 FPGA 选用 Altera 公司 Stratix 系列的 EP2S90F1020 芯片作为主处理器。FPGA 的配置程序存储芯片选用 Altera 公司的 EPCS64SI16N 芯片。FPGA 的片外 SRAM 选用 ISSI 公司的 IS61WV51216BLL 芯片。其的电路原理图如图 10 所示

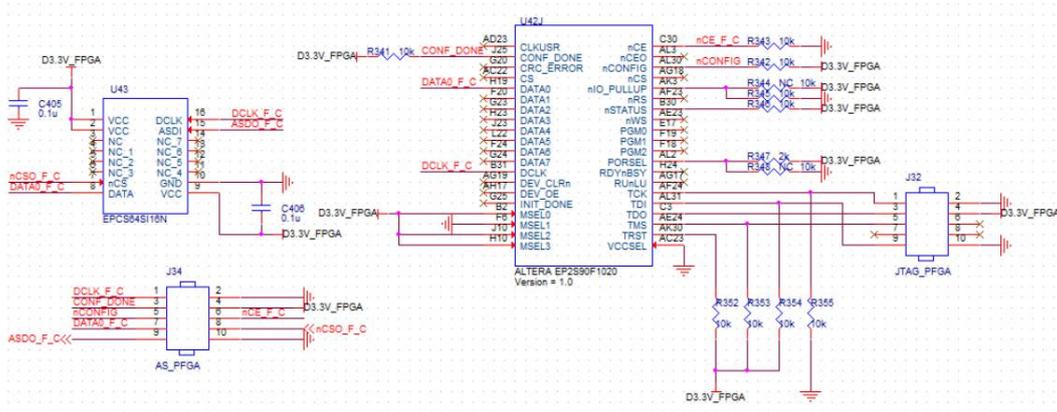


图 10 EP2S90F1020 的启动配置电路

3. 电源板由开关电源芯片及其电路构成。主要进行 DC-DC 变化, 将较高的电源电压, 转化成合适的电压为射频板和中频板供电。

电源板采用 XL4015 芯片。XL4015 是开关降压型 DC-DC 转换芯片, 具有固定开关频率 180KHz, 可减小外部元器件尺寸, 方便 EMC 设计。通过调节 CU 的滑动变阻器, 可使得在 28V 输入电压下, 输出 3 路 5-5.3V 电压和 2 路 3.3V 为中频板和射频板供电。其原理图如图 11 所示:

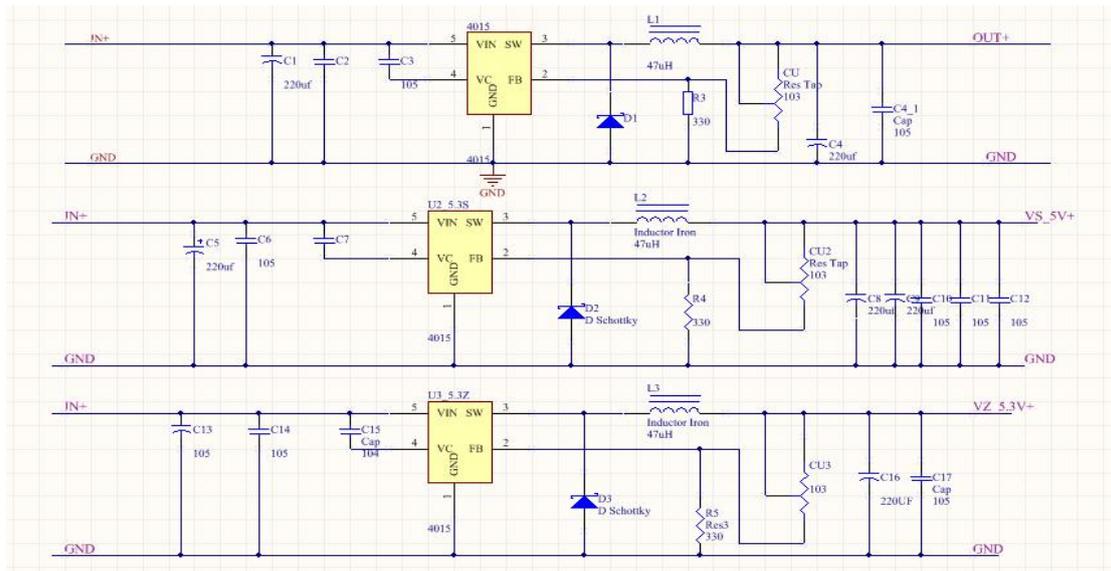


图 11 电源电路输出 5.3V 原理图

---

## 5 创新性

(1) 使用导航电文建立双曲线来确定目标的位置，程序简单，而且精度与其他方式相比。与目前流行的指纹定位技术相比，参数基数按复杂度低，不易出错。

(2) 将 2 维地图引入楼层信息，并与北斗系统结合，通过接收器位置的不同安装形式，不不仅能够对目标的位置进行平面定位，还能够得到目标的高度信息，位置信息更丰富。

(3) 使用了低频的导航电文传输信息，穿透性强，受环境影响小。可以应用到火灾现场等复杂场景中。与基于 GPS 的伪卫星定位方式相比，不容易受到天气、建筑物，噪声等不可控的偏差影响，抗干扰能力更强。

(4) 本方案使用由伪随机码组成的导航电文进行位置传输，不易被接收和破解。具有良好的隐私性。在超市，学校，体育场等场景中使用，可以有效保护使用者的隐私。

(5) 本方案使用了便携的发射模块和接收模块。维护成本低。与传统技术相比，本产品仅需定期更换发信器的电池，故成本较低。

(6) 本方案同时具有高度的泛用性，还能在日常生活中为用户提供到具体商铺或是其他位置的导航服务，这不仅提高了设备的使用率也使得设施问题的排查能及时有效地进行，防止险情突发时来不及排查故障。

## 6 应用前景

结合现在这一时代的发展潮流，在融入人工智能和大数据分析的先进技术应用后，我们的方案对人群疏散指导的效率还会更上一层楼，对各个区域可通行人数进行建模，对人群疏散出口优先度建立有效可行的算法，提供更加人性化的反馈界面，除此以外，在没有险情发生的日常生活中，我们的方案仍然能为用户提供一定程度上的导航服务。

(1) 在商场或是大型活动中可以为用户进行商铺或是卫生间等场所的位置导引，现有的导航在商场仍具有很大局限性，而本设计除了能提供更精确的室内导航外，还能提供所处楼层这类信息，从而更精确地引导用户前往目的地。

(2) 在消防官兵于灾区进行消防工作时，他们的人身安全仍需要考虑在内，如果能在搜索幸存者和确定自身位置这两个过程上节省时间就能为双方争取到更大的存活空间，而携带定位手环则能使搜救过程更加高效。

(3) 在大型活动如奥运会或是演唱会，可以通过本构想的定位导引加上路线统筹功能使入场退场过程更加井然有序，进一步减少了公共安全事故发生的可能性。

中国政府在十四五计划中引出了“羲和”计划来鼓励国内对室内导航的相关研究和投入。<sup>[6]</sup>不仅如此，北斗也在去年正式完成了组网，由此可见当前我国在室内导航的鼓励和支持，相信在成功地结合北斗和室内导航的成果后，我们所设计的系统能在将来应对突发险情时，很好地协助人群疏散和救援过程，使之更加高效及时，从这些不可抗力中保障我们国民的生命安全。

---

### 参考文献

- [1] 曹旭, 刘艺. 国内踩踏事故研究的科学知识图谱分析[J]. 山西能源学院学报, 2020, 33(01):71-74.
- [2] 陈国平, 马耀辉, 张百珂, 基于指纹技术的蓝牙室内定位系统[J]. 电子技术应用, 2013, 39(3).
- [3] 陈志锐, 陈亮, 基于智能手机的室内定位技术的发展现状与挑战[J]. 测绘学报, 2017, 46(10).
- [4] 裴波, 刘东辉, 钱久超, 室内定位技术与应用综述[J], 导航定位与授时[J], 导航定位与授时, 2017, 5(4).
- [5] 宋鏢, 程磊, 周明达, 等, 基于惯导辅助地磁的手机室内定位系统设计[J]. 传感技术学报, 2015, 28(8):1249-1254.
- [6] 闫大禹, 宋伟, 王旭丹, 等, 国内室内定位技术发展现状综述 [J]. 导航定位学报, 2019, 7(4):5-12.

---

# 陆空两栖机场道面巡检车

作者：豆聪、杨聶维、张国挺、沈淇焯

指导教师：张静

学校：中国民航大学

---

**【摘要】** 在中国北斗系列卫星全球组网阶段的收官之星成功发射的背景下，关于基于北斗的陆空两栖机场道面勘测车的研究，有利于协助机场地勤工作者完成道面日常巡检工作。因此，本文主要研究如何将北斗定位系统与陆空两栖机场道面勘测车进行合理结合。将地面、空中双勘察系统的运用和高空及抵近侦察两项侦察优点集一身，可对机场道面进行日常巡检，维护机场机器周边安全，在对道面进行低空勘测时，可进行异物识别处理，保障航班安全。

**【关键词】** 北斗定位；陆空两栖；机场道面；巡检；

**【Abstract】** Under the background of the successful launch of the final star in the global networking stage of China's Beidou series satellites, the research on the ground-air amphibious airport pavement survey vehicle based on Beidou is helpful to assist the airport ground staff to complete the routine pavement inspection work. Therefore, this paper mainly studies how to combine the Beidou positioning system with the ground-air amphibious airport pavement survey vehicle reasonably. The application of the ground and air reconnaissance system and the advantages of high altitude and close-in reconnaissance are integrated, which can carry out daily patrol inspection on the airport road surface, maintain the security around the airport machine, and identify foreign bodies in the low altitude survey on the road surface, so as to ensure the safety of flights.

**【Key words】** Beidou positioning; Land and air amphibious; Airport pavement; Inspection

---

## 1 背景及意义

随着中国北斗三号全球卫星导航系统的全面建成，北斗可为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位，伴随着技术的进步以及应用需求的扩大，卫星导航定位已经从最初的军事应用渗透到国民经济建设、科学研究和人民生活的各个方面，本项目旨在基于北斗定位系统，设计制作一款陆空两栖道面勘测车，协助机场地勤工作者完成道面日常巡检工作。

根据现有规定，在飞机起降前后均需对机场道面情况进行巡查，并对异常情况进行排查清理，保障飞机的起降安全。在场地巡查过程中，需要依照民用机场飞行区场地日常巡视检查记录表中的要求进行检查，例如对道面是否有外来物、是否损坏、是否被污染，土面区高差是否出现异常、是否平整等要求进行检查与记录，如发生异常，则在表中对其进行详细记录并拍照示意。目前的机场道面均由人工进行监测，在巡查时可根据需要采用乘坐巡查车辆、骑自行车或徒步等方式进行。监测次数则根据日到达架次的不同而变化。该方法具有如下缺陷：

- 
- 1、人工道面监测工作成本高、时间长且效率低。
  - 2、人工道面监测无法及时有效的处理刚出现或已存在的问题，信息传输较慢。
  - 3、机场道面工作环境艰苦，地勤工作者工作压力重。

因此，目前亟需一种基于北斗导航定位的，智能高效快速的、能够对机场道面进行智能巡检的勘测工具。且同时具有陆地及空中双模态勘测优势，即拟定设计制作一款陆空两栖机场道面勘测车。陆空两栖道面巡检车通过使用 Mission Planner 地面站软件，利用北斗卫星定位系统可对道面巡检车进实施调控，也可加载事先设置的飞行计划，完成自主巡航，从而协助机场地勤工作者完成道面日常巡检工作。

同时两栖道面巡检车拥有配套的道面异物识别程序，在低空飞行巡检时，对道面异物进行自主识别归类，并进行定位，消除 FOD 对造成的危害，保证航班安全。

## 2 设计与制作

### 2.1 初期设计任务及创新点

我们旨在设计制作一款搭载机场道面检测设备的两栖智能侦察车，将地面、空中双勘察系统的运用和高空及抵近侦察两项侦察优点集一身。可利用飞行模式全方位探测机场道面，在低空飞行时快速近距离勘察道面目标，快速评估道面质量，在陆地模式对其进行快速定位。与传统人工排查相比，在其高效的“两模式三快速”共同作用下及图像识别功能对道面状况实时监测，保证航班起降安全。同时也可用于公路道面的日常巡检勘测，在道路安全检测方面具有广泛的应用前景。

### 2.2 理论设计

陆空两栖勘测车的三维模型的建立及优化，Open CV 数字图传系统的搭建，道面异物识别处理

#### 2.2.1 陆空两栖勘测车的三维模型的建立及优化

陆空两栖机场巡检车在于：将陆地模式和空中模式融合，且陆地前行勘测时不会因电机机臂过长而干扰勘测车的正常地面勘测工作的进行，天空飞行勘测时，不会因机架结构而干扰螺旋桨正常的升力气流。经研究决定，在机臂处设计安装两个小型滑台导轨，配置微型步进电机，从而使得机臂可在不同模式下进行伸缩变化，满足使用要求。并且两栖勘测平台需要有足够的空间安置图传天空端装置以及动力电池，在陆地模式设计中，为保证巡检车的速度实用性，以及避障减震能力选择设计为四驱轮式地盘综，并使用使用 ANSYS 软件对模型进行力学分析，并对结构进行进一步优化。上所述，整体布局整体设计如下：

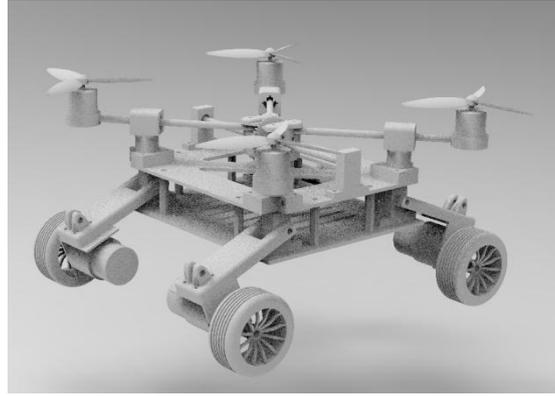


图 1 陆地模式三维模型

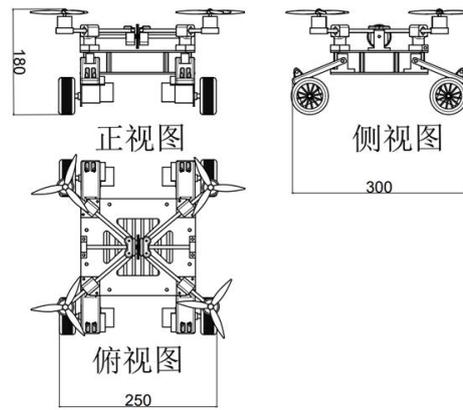


图 2 陆地模式设计图纸

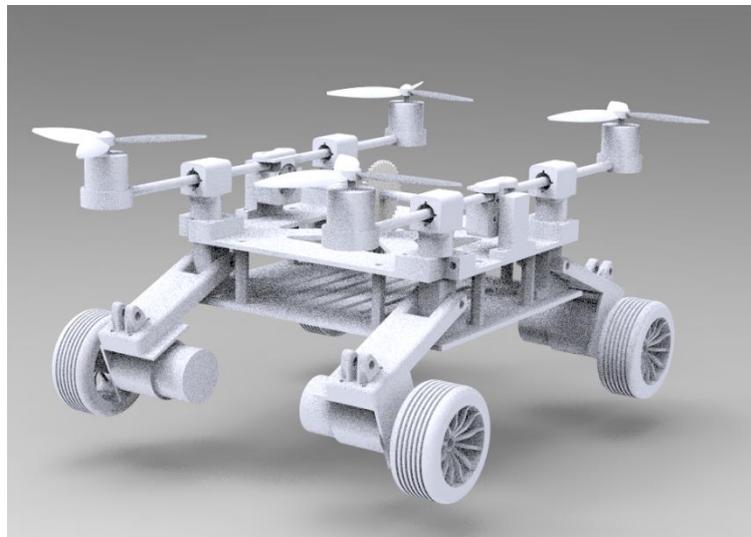


图 3 天空模式三维模型

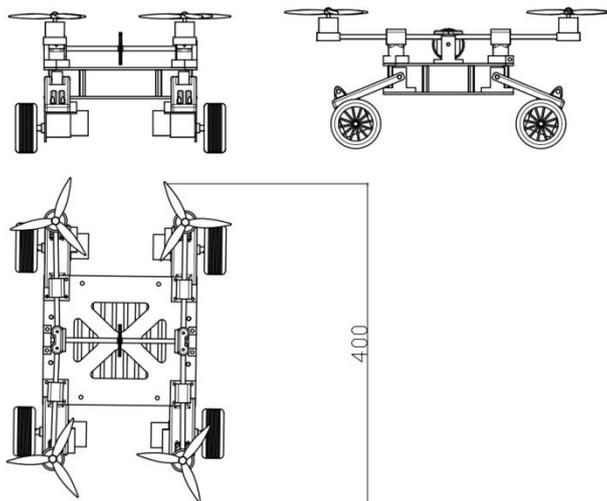


图 4 天空模式设计图纸

### 2.2.2 Open CV 数字图传系统的搭建

在对比市面上常用的数字图传和模拟图传两种图传的传输方式，考虑到机场电磁环境的复杂性状况，跑道距离长，以及后期处理画质要求高等特点，综合考虑选择使用数字图传系统。现用数字图传多是大疆旗下产品，从镜头，天线，屏幕均需配套使用，兼容性差，且成本费用过高等特点，故最终选择使用自制树莓派图传。

通过将 Open HD 系统烧录入树莓派操作系统中，利用无线网卡作为无线电的发射和接受，实现图像的实时传输，同时集成了 OSD 功能，热点功能，可支持 HDMI 显示器，手机，电脑均可作为终端。并且，整套设备的价格相比现在市面上的高清数字图传具有十分明显的价格优势，性价比十分高。总成本 < 1000RMB。

由于画面后期处理需求，将频率，视频比特率百分比和画面帧频等参数进行调节，提高图传系统的抗干扰程度以及提高；根据图传系统的应用要求，将电源降压模块接入图传系统中，对树莓派电源及无线网卡供电稳定性进行优化，并且可以直接使用锂电池供电，从而保证图像传输的稳定性及适用性。

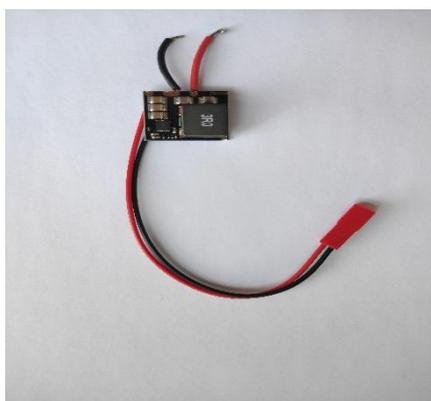


图 5 电源降压模块



图 6 树莓派图传系统实物

### 2.2.3 道面异物识别处理

由于巡检设备低空飞行得到的机场道面路图像，大体还是相当干净的，可以用边缘检测突出目标：



图 7 目标原图

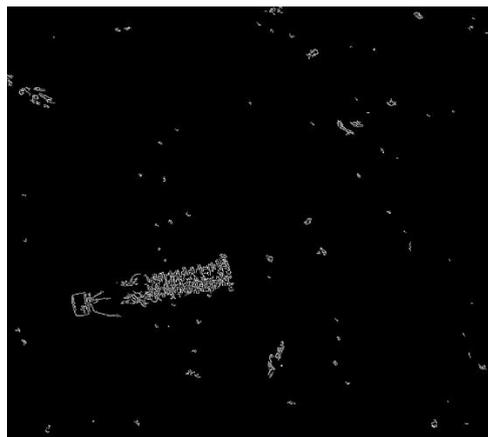


图 8 膨胀腐蚀

检测后目标突出，然后可以利用形态学处理膨胀腐蚀等，强化下目标，利用连通区域算法（也就是白点连成一片的算一个区域），寻找出目标位置。



图 9 边界检测



图 10 目标物捕捉完成

可以对检测出的区域，提取 sift 特征和库里匹配，若能匹配上，便可得到图中需检测到异物目标。在一些路面处存在道路线，通过边缘检测算法也可能被检测出，但在匹配特征点的时候，匹配率太低，不会被认可，便可很好的排除掉。这样能相对准确的检测目标，并且只计算截取区域的 SIFT 特征，不需计算整图的 SIFT，使得检测速度大大加快。

依次为基础将实时图像对实时图像进行识别处理对异物进行检测识别分类，再通过抓取画面对应时间，匹配到北斗导航所规划的巡航路线中，完成定位处理，方便人工进行定点清除。

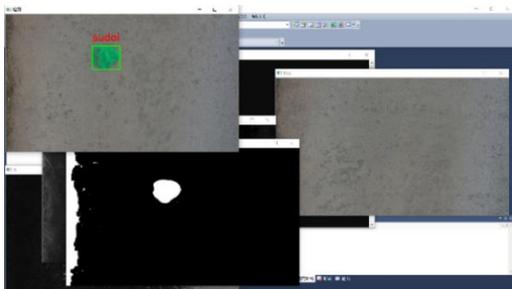


图 11 塑料袋识别

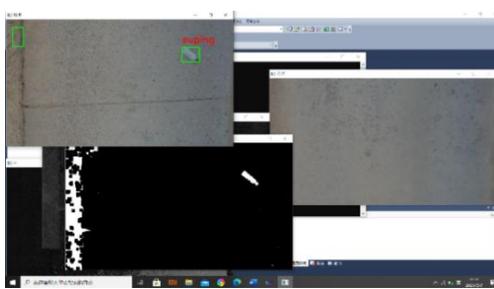


图 12 矿泉水识别

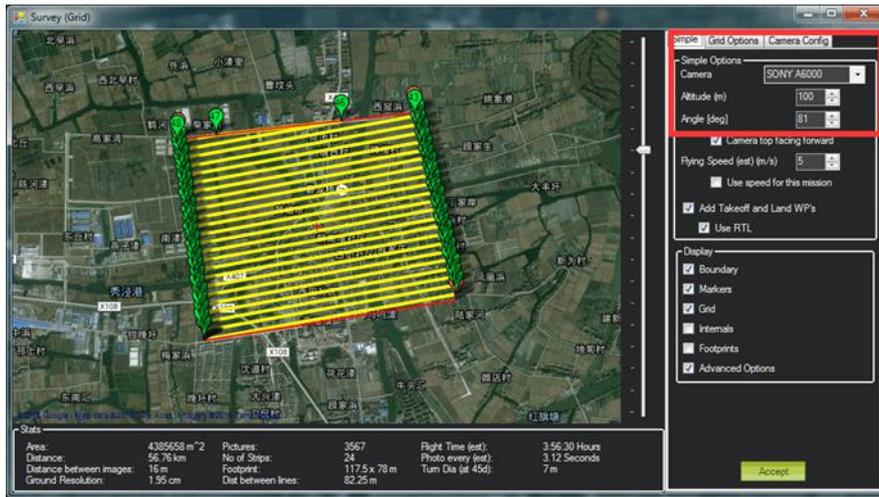


图 13 航线规划

### 2.3 实物制作

为减轻飞行器的整体质量，上下两层支撑板均采用强度较高，质量较轻的3mm 碳板，机臂选择使用外径为6mm 内径4mm 的3K 碳管，在电机与碳杆连接处以及碳杆与滑轨连接处使用光敏树脂（类ABS）激光快速成型光敏树脂连接件，光敏树脂能制作耐用、坚硬、防水的功能零件，抗高温性能较好，可适用于巡查车日常工作环境，且可进行电镀喷漆等操作，结构强度高于普通塑料。



图 14 部件展示



图 15 模型展示

为保证陆地模式下，传输画面的稳定性，以及快速机动时，对车载设备的安全性考虑下，为其设计安装了减震，保证勘测任务的顺利进行。

### 参考文献

- [1] 程向红,祁艺.基于栅格法的室内指示路径规划算法[J].中国惯性技术学报, 2018, 26(2): 236-238.

选项	人数	百分比
能经常看到	27	9.78%
我身边就有盲人朋友	15	5.43%
不经常看到	37	13.41%
没有遇见过，因为他们出行不方便	197	71.38%
本题有效填写人次	276	

第二题 您认为盲人是否具备独立外出的能力 [单选题]

选项	人数	百分比
是	32	11.59%
否	244	88.41%
本题有效填写人次	276	

第三题 您认为盲人的主要出行方式是什么？ [单选题]

选项	人数	百分比
使用导盲杖出行	237	85.87%
依靠他人陪护	232	84.06%
依靠导盲犬	145	52.54%
其他导盲设备	45	16.30%
使用盲道	79	28.62%
本题有效填写人次	276	

第四题 您觉得盲人日常生活出行中哪些困难？ [单选题]

选项	人数	百分比
看不到红绿灯，过马路困难	256	92.75%
可能无法独自乘坐交通工具	245	88.77%
道路不平整，容易摔跤	238	86.23%
在前进时不知道周围情况	247	89.49%
本题有效填写人次	276	

第五题 你在生活中是否看到为盲人专门设备服务？ [单选题]

选项	人数	百分比
是	107	38.77%
否	169	61.23%
本题有效填写人次	276	

第六题 可以调查相关导盲工具，你觉得是否真能为盲人所使用？ [单选题]

选项	人数	百分比
使用情况很好，利用率超过 80%以上	29	10.51%
使用情况一般，利用率在 60%到 80%	98	35.51%
使用情况较差，利用率在 60%到 80%	86	31.16%
使用情况极差，利用率低于 30%以下	63	22.82%
本题有效填写人次	276	

第七题 你认为导盲产品不能完全发挥作用的原因？ [单选题]

选项	人数	百分比
日常生活不能有效提示盲人	93	33.70%
设计不完善，使用率低	87	31.52%
不符合盲人的真正需求	96	34.78%
本题有效填写人次	276	

第八题 路上遇见盲人你会帮忙吗？ [单选题]

选项	人数	百分比
是	189	68.49%
否	37	13.40%
视情况而定	50	18.11%
本题有效填写人次	276	

第九题 您希望在未来得到忙工具拥有什么功能？ [单选题]

选项	人数	百分比
可以进行智能避障	255	92.39%
实时监控盲人行进情况	246	89.13%
易于盲人操作、使用方便	225	81.52%
可以帮助盲人某些日常活动	234	84.78%
语音输入目的地可以智能护航	239	86.59%
本题有效填写人次	276	

---

# 基于北斗的疫苗冷链运输监管系统

作者：蔡逸豪、刘一龙、秦运国、张乐

指导教师：王潜心、马昌忠

学校：中国矿业大学环境与测绘学院

---

**【摘要】**：北斗既是惠国利民的“大国重器”，也是保家卫国的“尖刀利剑”，她为全球用户提供高精度定位、导航和授时服务。本产品是一款基于北斗的物联网监管系统，该系统可以应用到疫苗冷链运输等行业。疫苗冷链运输往往需要对产品运输环境具有更高的要求，本系统可以实时监控中长途冷链运输当中的温度、光照和震动等状态并提供及时的数据反馈并对产品作出一系列的控制，这样不但在一定程度上能够减少运输过程中的相关损失，还可以让远在数个省份之外的收货方实时了解到货物的位置和所处环境的正常与否。另外，发货方使用这套系统或者该系统纳入运输行业，这样可以为错综复杂的国家运输网络带来更高的经济效益、更大的质量保障和更好的运输便捷性。

**【关键词】**：北斗定位；物联网；运输监管；温湿度光照监测

**【Abstract】** With the successful construction of Beidou 3, the Beidou system plays an important role in all fields of society. This product is a Beidou based Internet of Things supervision system, which can be applied to cold chain transportation and other industries. Cold-chain transport industry often require for transport environment has a higher request, in the medical, food, perishable, have strict requirements on temperature transportation occasion widely used, the system can real-time monitoring and long-haul cold-chain transportation, such as temperature, light and vibration state of the data and provide timely feedback to the product and make a series of control, to some extent, such not only can reduce the losses in the process of transportation, also can let in the receiving party several provinces from the real time understanding to the position of the goods and the environment is normal or not. In addition, the use of the system by shippers or the integration of the system into the transportation industry can bring greater economic efficiency, greater quality assurance and better transportation convenience to the intricate national transportation network.

**【Key words】** Beidou positioning; The Internet of things; Transport supervision; Temperature and humidity illumination monitoring;

---

## 1 引言

我们设计的基于北斗的冷链运输监管系统，研究对于食品、货物监管运输的实时监控，本作品设计由北斗+物联网+货运监控，实现三位一体，对于实现标准化实施和监管，有着促进的重要意义。

北斗既是惠国利民的“大国重器”，也是保家卫国的“尖刀利剑”。随着在2020年，北斗三号组网成功，我国北斗建设进入了一个新的时代。在我国，交通运输领域一直是北斗的重要应用领域，如今近700万辆道路营运车辆、5.1万辆邮政快递运输车辆安装北斗系统<sup>[7]</sup>。与此同时，道路运输货物内部温

度实时监控，和运行路径的实时规划逐渐成为一个亟待解决的问题。冷链运输可以有效地实时监控货物状态，南京邮电大学的邵可南等学者提出一种基于冷链低碳物流路径的混合优化算法<sup>[5]</sup>，与传统冷链技术相比，其具有求解效率更高，搜索范围更大，求解精度更高等特点。

众所周知，中国因丢弃腐烂食品而造成的浪费每年达到 700 亿元人民币，占食品生产总值的 20% 之多。在医疗、医药等需要严格控制温度等运输方面，由于冷链系统建立不完善，发生了“2016 年山东非法疫苗案”导致疫苗失活，造成 24 个省份近 80 个县市的人们遭受严重损失。于此，史砚磊等人提出了对于我国冷链运输标准化现状与发展政策建议<sup>[6]</sup>，人为我国冷链运输仍有较大的发展空间，需要更好地发挥标准化对于冷链运输成本控制、效率提升的支撑作用。

当今，在疫情已经处于初步控制，疫苗即将投入生产之际，建设完善的“冷链”系统是国家热点研究问题。对于冷链运输而言，如何监管内部温度等货物状态，实现实时监控是其最核心的问题。本作品基于北斗导航定位系统的物联网监管系统，设计实时监控的北斗疫苗冷链监管运输系统，本系统可以实时监控中长途冷链运输当中的温度、光照和震动等状态并提供及时的数据反馈并对产品作出一系列的控制。

## 2 功能实现方案

### 2.1 总体方案概述

本设计是一款基于北斗定位技术结合物联网针对冷链运输过程中需要的产品环境质量监控。经过多个方案的对比选择，最终本设计决定采用 STM32F103 系列单片机作为中枢控制，负责一系列数据的收集与处理；北斗定位导航模块来实现对于产品的实时定位服务；物联网模块则是对单片机处理过的最终数据进行传输，发往 NB-IoT 网络服务器终端，受专人的监控，若数据出现异常，则会立刻通知接收端的接收设备，让收货方实时了解到货运进程；以下是程序框图：

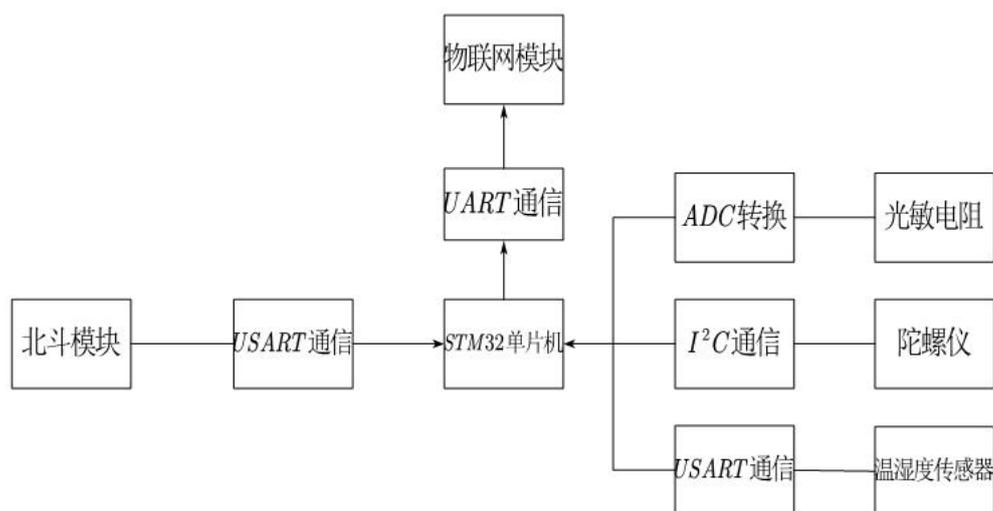


图 1 产品设计框图

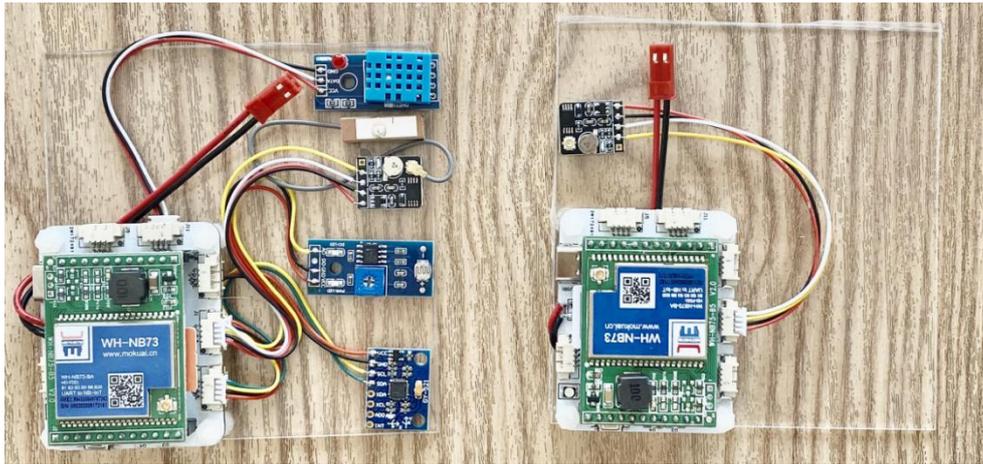


图2 产品整体图（左箱体端 右车辆端）

## 2.2 硬件功能实现

### 2.2.1 北斗模块

ATGM336H 是一款基于北斗卫星定位系统的导航模块，该模块基于 GNSS SOC 单芯片-AT6558 研发出来的，与 AT6558 芯片相比，该模块可以接收到更多类型的卫星信号（BOS、GPS、GLONASS 等），有更高的精确度，可以更好实现导航、联合定位和授时。

北斗卫星定位系统是一种全球卫星定位系统，可以进行相对定位和单点定位两种定位方式。其中，相对定位<sup>[1]</sup>是通过确定载波相位观测值的全周模糊度，从而得到从卫星到用户接收器的更精确的空间距离，从而实现高精度的定位。基于 GPS 载波相对定位开发的各种相对定位方法也同样适用于北斗系统的相对定位。目前，GNSS（全球卫星导航定位系统）相对定位的基线解算<sup>[2]</sup>方式大多采用载波相位的双差组合方式。双差组合方法可以消除卫星钟差和接收机钟差，并极大削弱电离层延迟、对流层延迟、电卫星星历误差等误差对定位结果的影响。单点定位<sup>[1]</sup>基于北斗卫星的星座分布和轨道。用户可以在地球表面的任意位置同时观测到 4 颗以上的卫星。从接收到的每个卫星广播的导航消息中，可以准确地确定卫星在视场内的空间位置，从而获得用户接收器与卫星之间的空间距离。在正常情况下，可以使用三颗卫星根据卫星与站点之间的距离来形成三个公式，并且可以使用这些公式来计算用户观测站的空间位置  $(x, y, z)$ 。

本设计中，北斗模块绑定了用于运输冷链运输货物的车辆和箱体，可以实时定位货物、运输车辆的位置并查看其运行轨迹，便于对货物和车辆的实时跟踪。



图4 北斗定位模块

### 2.2.2 物联网模块

WH-NB75-BA 物联网模块是基于 NB-IoT 网络开发的数据传输模块。微控制器和网络服务器可以通过运营商的 NB-IoT 网络相互传输数据。

NB-IoT 技术属于窄带物联网技术。它是最新的物联网通信技术。通过 LPWAN 的建立，在广域网中，使用蜂窝数据连接低功耗设备，并使用移动运营商的基站发送和接收数据，占用的频带很小，并且 NB-IoT 该网络具有安全性高，可靠性高，频谱高，功耗低，成本低的优点。它可以直接部署在 2G / 3G / 4G 网络中。未来，随着 5G 的不断普及，它仍然可以部署在 5G 中。NB-IoT 技术覆盖面广，渗透率高，使得网络终端设备的连接效率更高，当设备长时间不需要上线时，具有良好的应用效果，使设备可以有效连接<sup>[3]</sup>。

本设计通过 WH-NB75-BA 物联网模块，将单片机发送出来的数据上传至 NB-IoT 服务器终端，实现上位机对于设备信息的实时监控。



图 5 物联网模块

### 2.2.3 姿态传感器模块

MPU6050 是一种比较成熟的高精度姿态传感器。内部多路 ADC 信号可接收 3 轴加速度计信号和 3 轴陀螺仪信号，另外其内部拥有的数字运动处理器（DMP）能够为处理器节省一定的资源，在实际的解算中拥有更快的数据处理能力。此模块通过 IIC 总线与 STM32 单片机相连，具有自动寻址、多主机时钟同步等功能，方便数据的读取。

在震动检测的效果中，敏感的 MPU6050 传感器的效果较好，精密的传感器能够测量百分之一度的角度变化，在本作品的震动检测需求中可以轻松达到理想的标准。

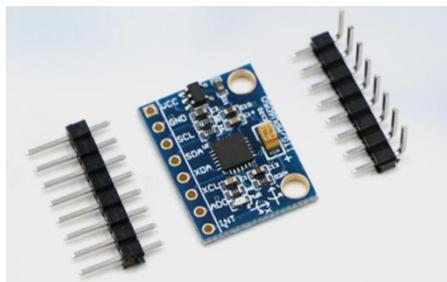


图 6 MPU6050 姿态传感器模块

### 2.2.4 光敏传感器

当光照射到光敏电阻上时，传感器会根据光强度改变其自身的电阻。可变光敏电阻和固定值电阻器的串联连接将分压电源电压以改变电压。由信号放大器放大的该电压的输出端子是传感器的输出，即电压信号。单片机通过 ADC 采集信号，得到光强度的信号值。

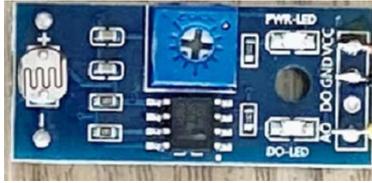


图 7 光敏传感器

### 2.2.5 温湿度传感器

温湿度的测量在冷链运输监管系统中尤为重要，实现温度监控，冷链运输才有了实际的意义，因此人们生产出了温度和湿度相结合的传感器。温、湿度传感器是指可以将温度和湿度转换为易于测量和处理的电信号的电子器件。市场上的温度和湿度传感器通常测量温度和相对湿度。本项目传感器可以检测周围环境的温度和湿度，湿度测量范围为 20%-95%，温度测量范围为-20℃~60℃。

本项目采用温度传感器是 DHT11 传感器，DHT11 数字温度和湿度传感器在于对温度信号以及相对湿度信号进行了复合数字信号校准，且其校准较为精确。能够长期稳定测定温湿度，有极高的可靠性；能够完全相互转化信号、能耗低、成本易于控制。该传感器包括一个电阻式湿度感测元件和一个 NTC 温度测量元件，并与高性能的 8 位单片机相连<sup>[8]</sup>。数据输出方便，易于核心单片机运算。



图 8 DHT11 温湿度传感器

## 2.2.6 硬件电路图

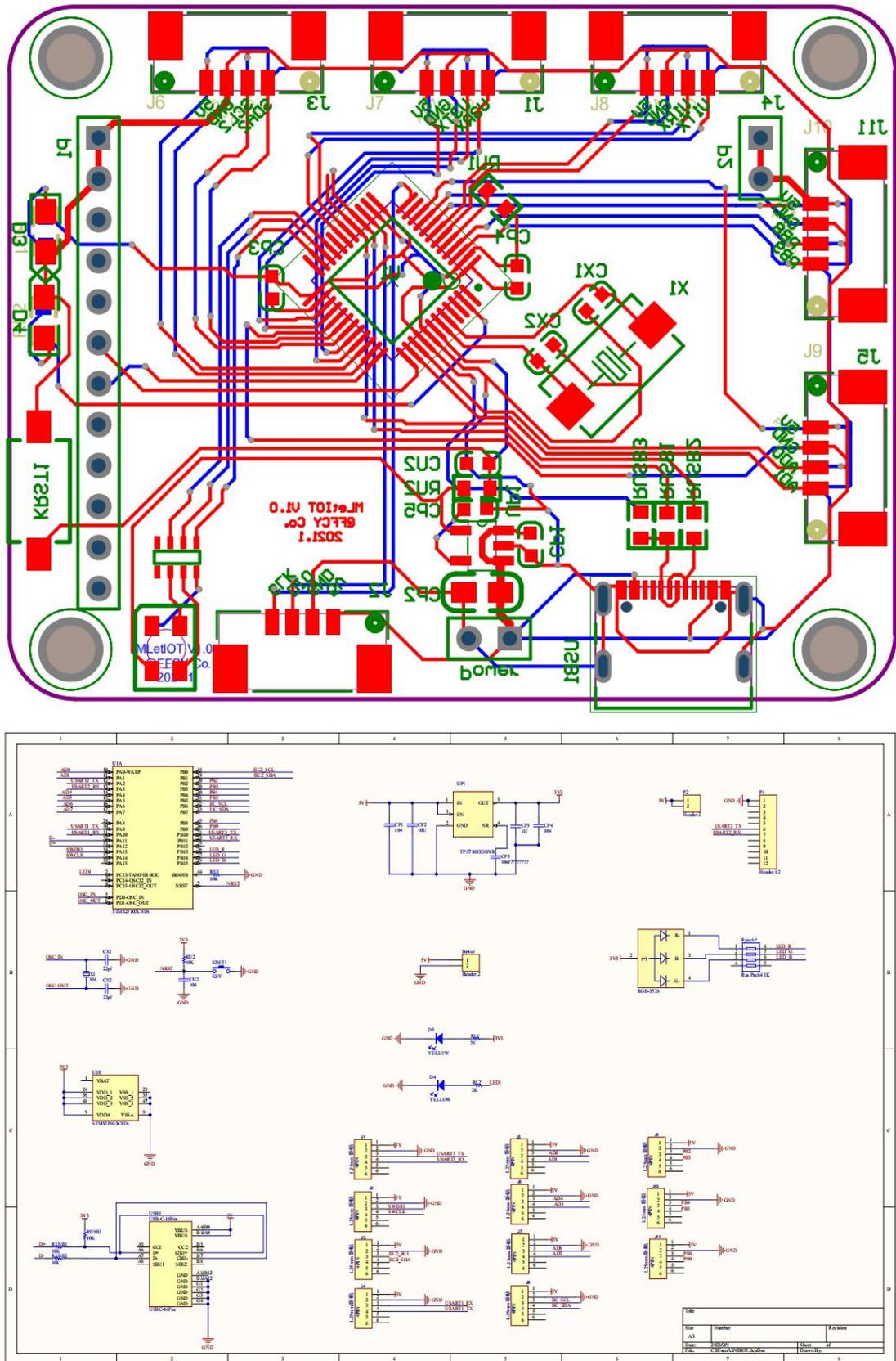


图9 硬件电路原理图（上）PCB 线路图（下）

### 3 软件功能实现

#### 3.1 软件整体设计

STM32 单片机作为系统的主控芯片需要完成北斗模块位置数据接收、姿态光敏温湿度传感器的数据接收解算、物联网模块数据打包发送以及接收端的数据接收。

首先单片机上电运行，会对需要的相关外设进行初始化，使用到的 ADC、IIC 以及串口进行等进行初始化配置，在主循环中不断的读取北斗定位信号和设备传感器状态信号，最后将收集好的信号整合发送数据到 NB-IoT 服务器。

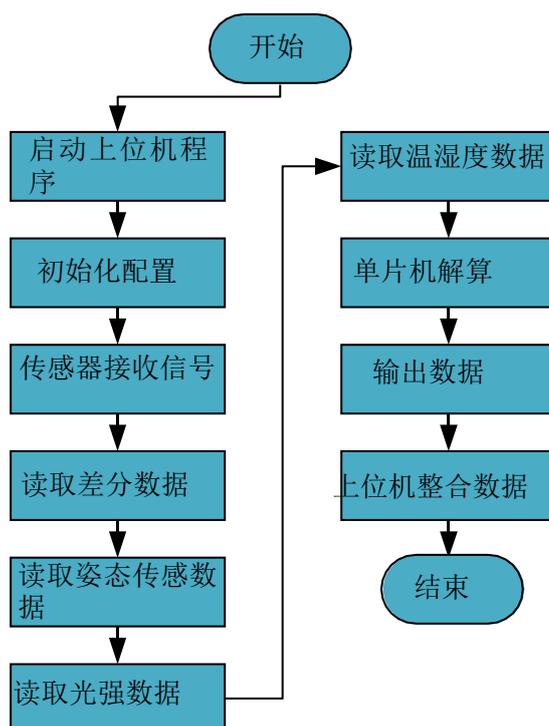


图 10 软件流程图

#### 3.2 北斗模块

首先初始化北斗模块并进行相关参数的配置和传输，然后天线接收北斗卫星的定位信息，最后通过串口循环发送定位信息给单片机。

#### 3.3 物联网模块

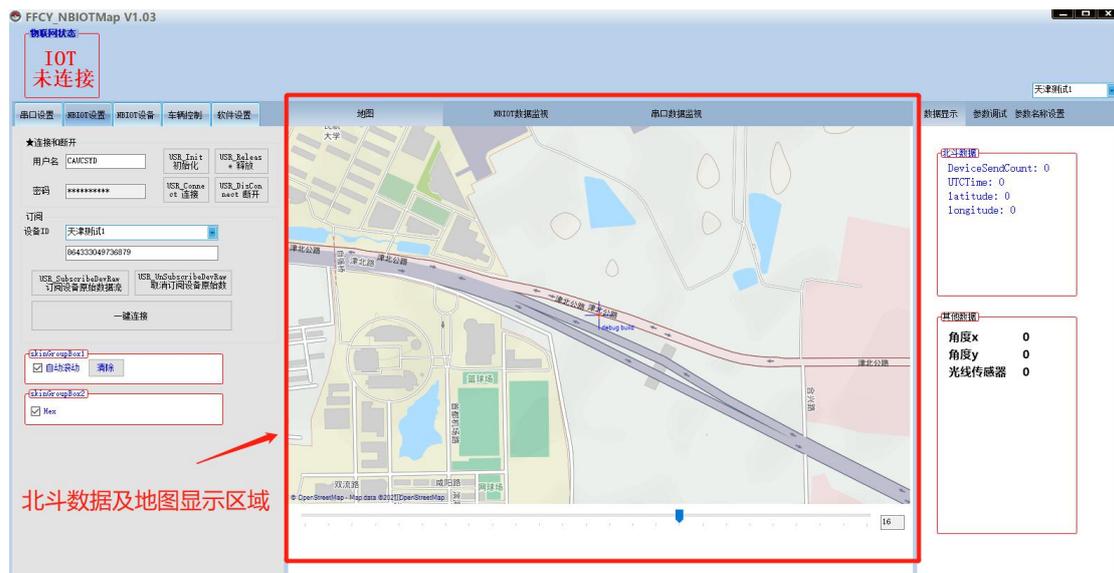
首先单片机会整合北斗模块和水流量计模块发来的数据，然后把数据发往物联网模块，物联网模块通过建立的 NB-IoT 网络把数据发往 NB-IoT 服务器。

#### 3.4 上位机模块

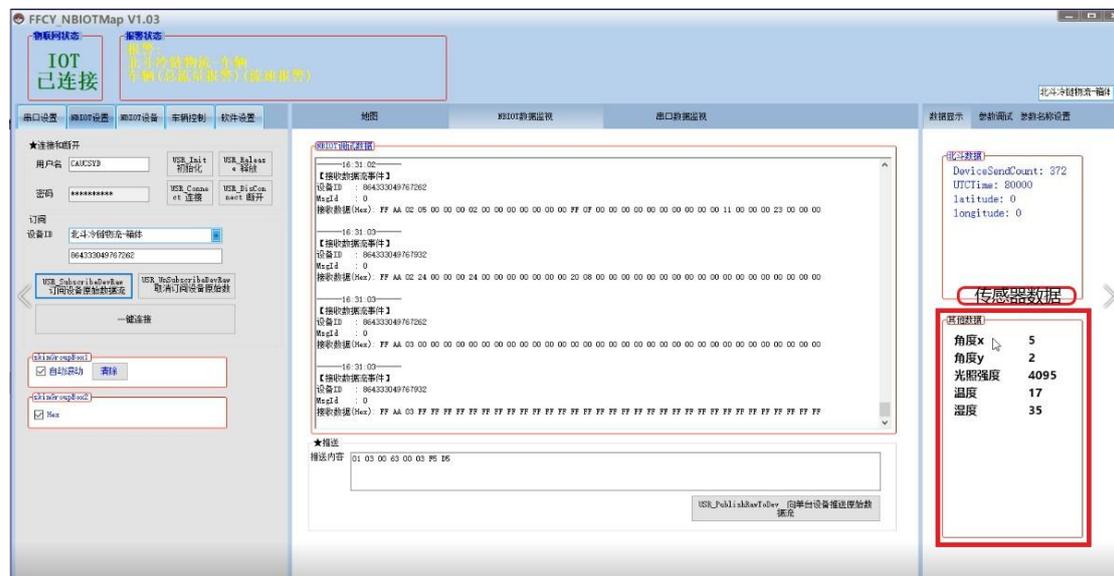
在上位机接通物联网模块之后，将 NB-IoT 服务器数据进行整合处理、运算，最后在上位机上将货物光敏、震动、温湿度以及货物位置等信息实时反映，由工作人员直接接收。接下来是对于上位机模块的功能验证。

以下是上位机功能介绍与检测

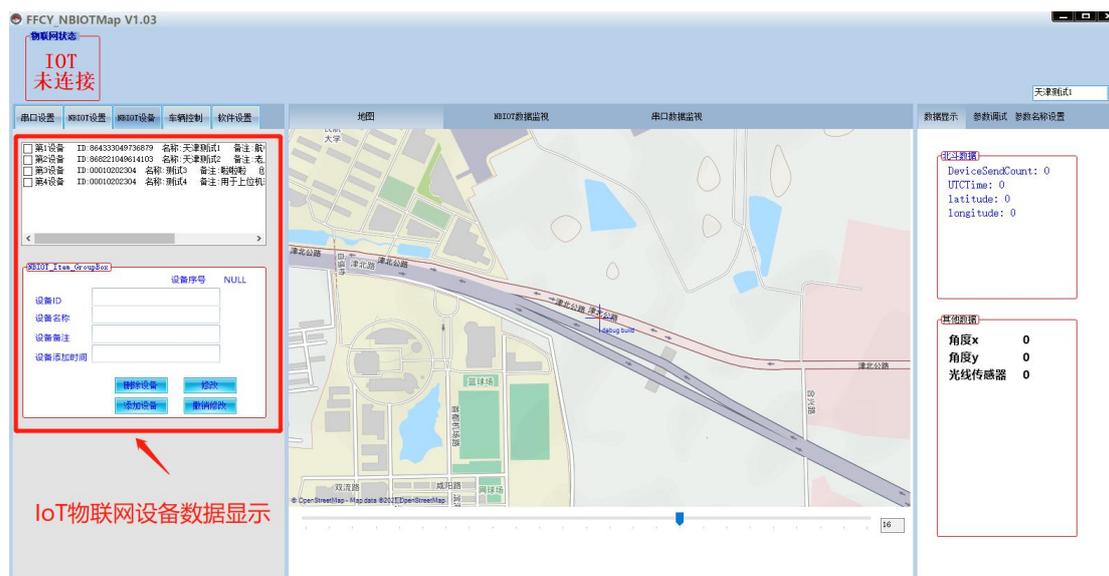
### 3.4.1 北斗数据接收功能测试



### 3.4.2 光敏震动温湿度传感器功能测试



### 3.4.3 物联网模块发送功能测试



## 4 结论与展望

冷链运输在全过程中无论是装卸货、更换包装或是更换运输途径等形式，都能保持同一的货物最适合储存的温度。以下是本项目的结论与创新点

本项目立足于北斗系统，提出并实现“北斗+物联网+货物监管”三位一体，实现货物远程可监管。

本项目在硬件方面采用 STM32F103 系列单片机作为中枢控制，负责数据的收集与处理；北斗定位导航模块来实现对于产品的实时定位服务，物联网模块则负责最终解算的数据传输以及数据监管。

本项目为基于北斗的疫苗冷链运输监管系统，我们希望这项系统带来更方便快捷温度和定位控制从而方便监管疫苗等物资的走向和减少货物的无端损耗。

## 参考文献

- [1] 于素君, 易昌华, 李春芬, 陈传庚. 北斗卫星导航系统定位原理及其应用综述[J]. 物探装备, 2020, 30(01):59-63.
- [2] 汪利, 余加学. 北斗三号系统长基线解算精度对比分析[J]. 经纬天地, 2020(06):5-7+12.
- [3] 冯珊珊. NB-IoT 技术在物联网中的应用分析[J]. 数字通信世界, 2020(12):152-153+155.
- [4] 张凯渊, 应忍冬, 刘佩林, 等. 北斗导航位置服务平台的设计与开发实现[C]. 第四届中国卫星导航学术年会论文集. 武汉:中国卫星导航学术年会组委会, 2013.
- [5] 邵可南, 吕成瑶, 张帅帅, 宫婧. 一种基于冷链低碳物流路径的混合优化算法. [J] 计算机技术与发展, 2021年2月第31卷第2期 31:27-32.
- [6] 史砚磊, 王伟, 李亚敏. 我国冷链运输标准化现状与发展政策建议[J]. 交通运输研究, 2021, (7 1):41-49.
- [7] 交通运输部 :超 660 万辆道路营运车辆、5.1 万辆邮政快递运输车辆安装北斗系统[J] 商讯, 2020(07):01.
- [8] 韩丹翱, 王菲. DHT11 数字式温湿度传感器的应用性研究[J]. 电子设计工程, 2013, 21(13): 83 - 85.

---

# 基于北斗导航定位的农田土壤环境信息监测系统设计研制报告

作者：程琳、张欣、魏富友、贾宏振

指导教师：刘立意

学校：东北农业大学

---

**【摘要】：**本科技制作设计了一个基于北斗导航定位的远程无线的农田土壤环境信息监测系统，针对测量多层温度操作繁琐、传统有线网络采集布线复杂和大区域远程控制精度低等缺点，我团队致力于研发出一套基于无线传感、北斗导航定位、多层测量、可持续工作的温度监测设备，设计了以 MCU 为控制芯片融合北斗导航定位技术、传感网与互联网技术、远距离无线传输技术、网络数据平台，集高精度的土壤温度传感器等建立的农田土壤多层温度信息监测系统。系统主要由北斗导航定位模块、土壤信息监测模块、物联网通信模块和基于 Web 的网络数据平台四部分组成。

网络数据平台通过数据统计实时显示了农田土壤的温度、农田天气状况、农田精准的温度分布等数据信息。借助北斗导航定位模块以及温度采集监测模块来实现信息的采集。建立以北斗导航定位系统为基础，建立全面的精准的测温网络，可实现大面积的实时测量，通过 Zigbee 自组网技术低功耗设计结合 GPRS 远程通信技术将下位机与上位机联系在一起。网页采用 HTML 语言开发，应用互联网技术、TCP 协议等将网页和农业数据库相连接，加入了数据分类、数据处理、数据可视化等技术，使农田信息数据平台具有通用性、灵活性、直观性、可扩展性等优点，为农民的耕作、科研人员的研究等提供了便利。

**【关键词】：**北斗导航定位，物联网，土壤温度，农田土壤多层温度信息监测

**【 Abstract 】** This technology produced and designed a remote wireless farmland soil environmental information monitoring system based on Beidou navigation and positioning, for measuring multi-layer temperature operation cumbersome, traditional wired network acquisition and wiring complex and large area remote control accuracy and other shortcomings, my team is committed to developing a set of based on wireless sensing, Beidou navigation positioning, multi-layer measurement, sustainable work of temperature monitoring equipment, designed MCU as the control chip fusion Beidou navigation and positioning technology, transmission network and Internet technology, remote transmission technology, Network data platform, set high-precision soil temperature sensor and other establishment of farmland soil multi-layer temperature information monitoring system. The system is mainly composed of Beidou navigation and positioning module, soil information detection module, Internet of Things communication module and web-based network data platform. The network data platform shows the temperature of farmland soil, the weather condition of farmland, the precise temperature distribution of farmland and other data information in real time. The monitoring module consists of the Beidou navigation and positioning module and the soil temperature monitoring module. Based on Beidou navigation and positioning system, a comprehensive and accurate temperature measurement network can be established to achieve large-area real-time measurement, and the lower computer is connected with the upper computer by

---

Zigbee self-networking technology low power design combined with GPRS remote communication technology. Web pages using HTML language development, the application of Internet technology, TCP protocol and other web pages and agricultural databases connected, including data classification, data processing, data visualization and other technologies, so that the farmland information data platform has the advantages of versatility, flexibility, intuitiveness, scalability, for farmers farming, research and other research to provide convenience.

**【 Key words 】** Beidou navigation and positioning; Internet of things; Soil temperature and humidity; Monitoring of multi layer temperature information of farmland soil.

---

## 1 研制背景及意义

### 1.1 背景

#### 1.1.1 国外研究背景

在 20 世纪 80 年代初期, 精准农业一词首先在美国出现。为了实现“精准农业”这一目标, 国外在土壤温度监测方面使用了大数据, 云计算, 北斗和无线传感器网络等一系列数字化技术。美国现采用精准农业系统来推动农业发展, 荷兰等国家通过卫星技术获取信息数据, 运用远程的测量及遥感技术, 为农户合理的种植提供了数据的分析与统计。美国等发达国家已建立区域土壤信息系统, 构建起 SSURGO, STATSGO, NATSGO 等多个大型数据库, 土壤温度监测等信息系统较为完善。

#### 1.1.2 国内研究背景

国内先后研发了多款不同种类的土壤温度测量仪器, 以此来分析土壤温度对其他方面因素的影响。虽然改善了传统的布线式测温模式, 减少了对土壤的破坏。但由于直接测量的工作方式, 不仅耗时耗力; 还会因为传感器与土壤接触的时间不足、数据数量多, 对监测人员的记忆数据造成压力而产生较大误差。因此设计一款进行可视化处理, 数据直观性高, 功能完善的土壤温度监测仪器对农作物的生长具有关键的作用。

### 1.2 意义

温度作为在农业等领域的重要参数, 实现在工作环境下的实时采集和处理分析, 是非常有必要的, 基于北斗导航定位的农田土壤环境信息监测系统的实现对于环境的保护、生产管理的调节、自然灾害的预测等方面有着重大的意义。相比较现有测量方法, 本系统将自动化技术、大数据技术融入到农业管理中, 农户可以实现温度测量的自动化、处理结果数字化、功能多样化, 对提高农产品的收获率、降低劳动强度、提高温度测量的精确度具有十分重要的意义。

## 2 研发方案

### 2.1 研究目标

本项目主要研究应用在农田土壤温度智能检测的农业系统。

1.实现测量节点多层测量, 解决传统测量仪器单点测量的缺点;

---

2.对传统有线网络采集布线复杂,成本较高的现状,搭建无线通讯网络,建立以北斗导航定位系统为基础,建立全面的精准的测温网络,可进行大面积的实时测量;

3.测量仪器低功耗功能实现,长时间稳定持续的采集数据;

4.完成下位机与上位机的无线通讯;

5.建立物联网云平台网站,采集农田土壤的信息数据,为用户采取耕作的决策提供了有力的保障。

## 2.2 研究内容

本项目选择 GPRS 网关和北斗+GPS 双定位模块,实现低功耗大范围远程通信的目的,极大提高了位置的精准度。采用 DS18B20 并联方式,对土壤进行多层数据采集,并设计配套的硬件电路,实现土壤信息监测模块设计;系统应用部分采用 html 和 java 开发语言,通过 MySQL 来创建数据库,建立基于 Web 的网络数据平台。以下是详细内容:

1.分析研究 GPRS 网络,了解 GPRS 工作原理及性能,熟悉 AT 指令,编程实现 Zigbee 与 GPRS 的串口通信接口连接和基于 GPRS 网络的 TCP 网络连接。

2.了解北斗卫星导航系统,北斗卫星导航系统是中国着眼于国家安全和经济社会发展需要,自主建设运行的全球卫星导航系统,其由空间段、地面段和用户段三个部分组成,可为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务的国家重要时空基础设施,其定位精度可达到 10 米,测速精度可达到 0.2 米/秒,授时精度可达到 10 纳秒。实现了基于北斗导航系统的高精度温度位置信息精确的传递和低功耗方案的设计。

3.熟悉 DS18B20 ONE-WIRE 协议,DS18B20 内部含有唯一的 64 位编码,设计 ROM 搜索算法,搜索并联的 DS18B20,对其分别编号,完成多层测量的设计。

4.设计并开发基于 Web 网络数据平台,将 GPRS 上传的信息进行解析、可视化和转储,结合 JAVA、Html、SQL 等多种技术,最终实现了网站访问及移动终端访问。

## 3 理论设计计算

### 3.1 土壤信息监测模块设计

#### 3.1.1 温度传感器的选取及确定

温度是一个重要参数。在对于土壤多层温度实时监测的需求下,实现功耗低的多层设计是十分重要的。温度传感器有效温度范围:  $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ , 电源:  $3.0\sim 5.5\text{V/DC}$ , 耗能低,土壤层结构影响小且无毒。DS18B20 测温范围  $-55^{\circ}\text{C}$  至  $+125^{\circ}\text{C}$ , 分辨率 12 位,精度  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 电源:  $3.0\sim 5.5\text{V/DC}$ , 静态功耗  $< 3\mu\text{A}$ , 唯一 64 位编码,可实现多层测温设计。故用 DS18B20 作为土壤温度传感器。

#### 3.1.2 多层测量设计与实现

(1) 硬件设计:

使用与土壤比热容相近的 7MM 碳纤维杆细土进行装配,减少比热容误差所造成的测量误差,提高测温精度,整体结构密封。DS18B20 内部含有唯一的 64 位编码,故采用并联设计,定制 500mm X3mm 电路板,设置五个焊接点,间隔 100mm。DS18B20 是单总线通信,即接收和发送都是这个通信脚进行的。

接收时高电阻输入，发送时开漏输出，即输出 0 时三极管下拉为低电平，输出 1 时，为高阻，需外接上拉电阻将其拉为高电平。硬件设计电路图：

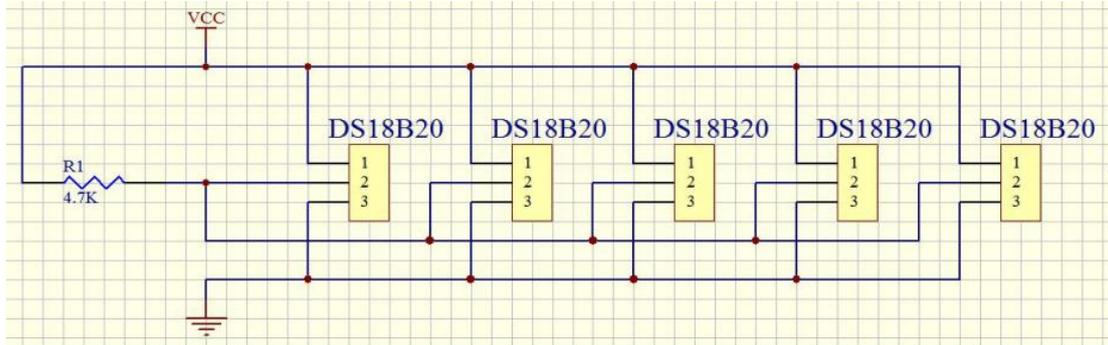


图 2 多层测量设计电路图

(2) 多层测温 ROM 搜索算法及温度读取实现：

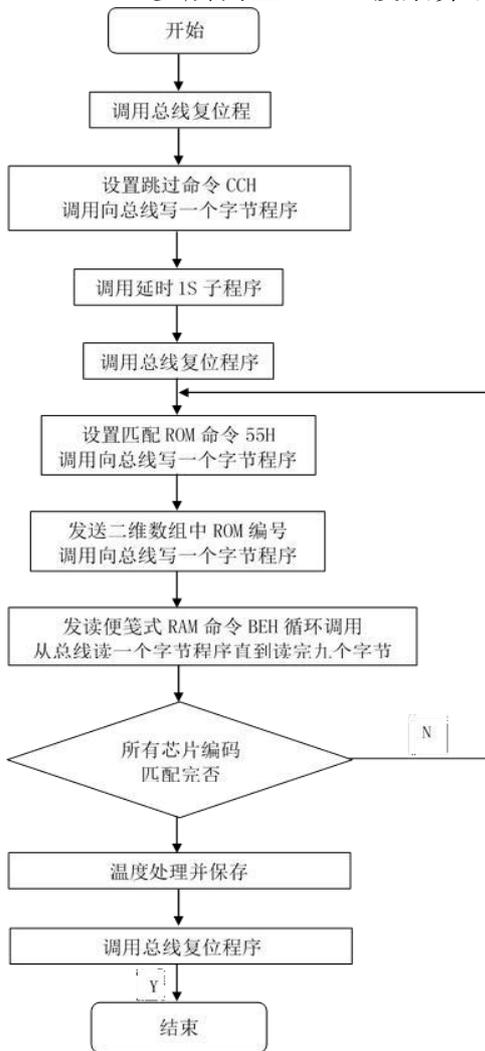


图 3 软件实现流程图

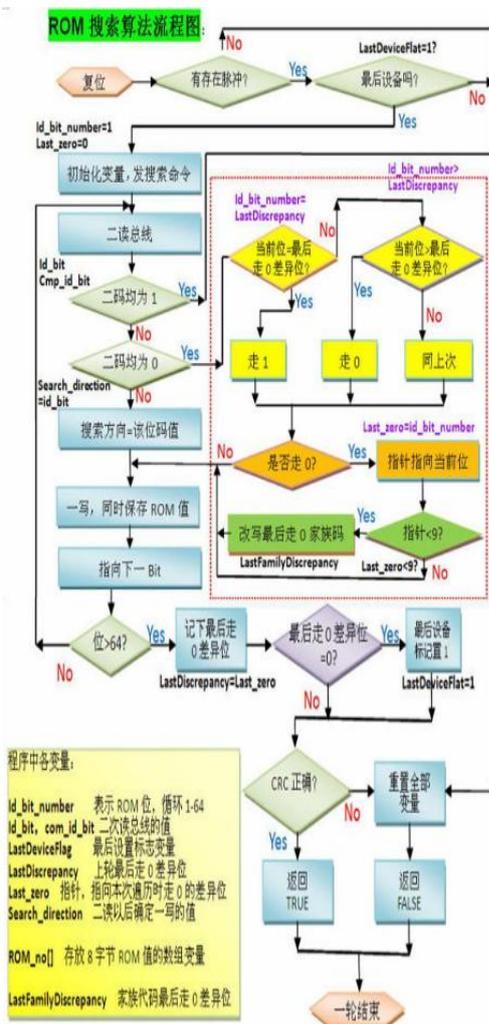


图 4 ROM 搜索算法流程图

技术优势：设计创新的实现了多层测量的功能。拥有低功耗，响应速度快，稳定性较高等优点，填补了普通传感器多层测量的空白。

### 3.1.3 基于北斗导航定位的精准温度位置农田地形图的实现

北斗卫星导航系统是现阶段以来中国正在实施的能够独立运行并自主发展的全球卫星导航系统。为达到建成技术上独立自主、使用体验方面稳定可靠的

系统的目的。将其与现阶段发展的产业巧妙地结合，通过完善且熟练的技术来推动发展。

北斗卫星导航系统由空间段、地面段以及用户段三个部分组成，空间段包含 5 颗静止轨道卫星和 30 颗非静止轨道卫星，地面段通过主控站、监测站、注入站等若干地面站，以及星间链路的运行管理设施。用户段包括北斗用户终端以及与其他卫星导航系统兼容的终端。

基于北斗导航系统的这些特性，我们建立了以北斗导航系统为基础的农田信息精准测量、实时测量、精准定位的系统，系统模拟如图：

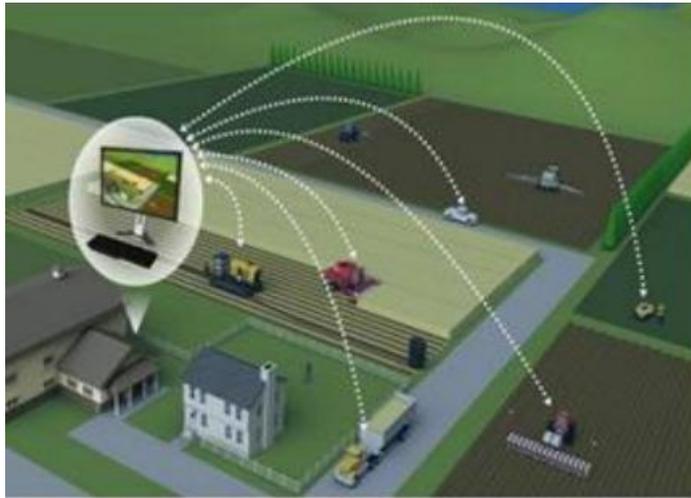


图 5 农业数据平台构想图

## 3.2 物联网通信模块设计

### 3.2.1 无线通信模块的选取及确定

通讯网络要求大面积通讯，低功耗设计，保证能源供应，长时间持续工作，与服务器连接。Zigbee 具有低功耗的特点，PM3 模式下，消耗可达到微安级别，发射功率仅为 1mW；低成本；短时延，响应速度较快；大网络容量，可组建大范围通讯网络；抗干扰性强。故采用 WeBee 的 Zigbee (CC2530) 作为低功耗大范围通讯网络。GPRS 与互联网互通，网络的核心网络层采用 IP 技术，实现与高速发展的 IP 网无缝连接，通信速率高且按量计费，在收发数据时才与网络连接，降低用户成本。故采用 GPRS (SIM900a) 模块进行远程通讯设计。

### 3.2.2 低功耗大范围远程通讯网络设计与实现

#### (1) 大范围通讯网络设计

Zigbee 的网络拓扑结构有三种：星型网络、树簇型网络、网型网络。本系统的工作环境由于是在分布范围相对较大的农田，因此采用了树簇型网络作为该检测系统的工作模式。以下将该工作模式在本作品中的具体设计应用进行分析说明。在 Zigbee 网络中，可以将 Zigbee 网络中的设备分为三个类型：协调器、路由器和节点。

#### 1) 协调器在网络中的功能设计：

协调器是一个网络的组建者，用于初始化网络信息，因为每个网络只有一个协调器，所以要保证其他子结构与主协调器的距离，保证系统整体的稳定协调，因此在布置网络时，将协调器放置在网络的中心位置，接收来自子结构的信息，并组建网络的主结构。

#### 2) 路由器的功能设计：

路由器主要是为了实现多路选径功能，为上层中继数据帧，为其他 Zigbee 路由器中继数据帧，参与路由发现，为后续数据帧建立路由，因此路由器是子结构网络中的组建者，应该布置在子结构的中心，保证节点设备的等距离性，同时还可以允许其他节点加入到网络中。此外，当其子节点处于休眠时，路由器可以暂时缓存其子节点的消息。

### 3) 终端的功能设计:

节点是一个网络中基本的设备，主要负责将模块测得的温度数据发送给附近的路由器。

### (2) 故障处理

考虑到农田工作环境的复杂性及实用性，系统提供 Zigbee 的故障处理方式，农田工作的系统中一节点发生故障，系统将自行解决问题，减少了人工操作的次数，提高了系统的智能性与先进性。当有节点或者路由器设备发生故障不能正常工作时，故障机附近的设备可自行寻找周围可用的其他设备，并向其发送请求指令，若得到应答指令，则改变原来的传输线路继续工作，自行选择一条新的传输路径进行数据的传输，从而提高系统的鲁棒性。

## 3.3 供电模块硬件方案设计

考虑到田间复杂环境，长时间工作的要求。系统采用 3.7V/400MAH 锂电池作为电源;TP4056 (1A) 充电电源模块板 (25 X 19 X1mm); 直径 64.5mm, 6V/50MA 太阳能电池板 (A 级多晶硅, 0.3W, 转换效率>17%); 三脚两档开关进行设计。

## 3.4 基于 Web 的网络数据平台设计

通过传感器将实验数据传输到服务器中，传输到页面通过报表绘制实时土壤温度属性趋势图对其进行监控，设置了采集节点分组,通过导入百度地图 API 来实现对采集地点的直观了解，点击实时显示，向服务器端发送一个请求，在 Servlet 中服务器将收到的来自传感器的实验数据通过响应发送给客户端，在 html 页面中,绘制从服务器获得的数据，得到报表。当每一批次数据采集完成并储存到数据库后，数据库会将当前批次数据进行汇总，而后由服务器将汇总结果调出并分析生成对土壤情况的判断再将判断结果与当前批次数据储存。不同批次的信息累积到指定数量后，再对这些信息做出更高层次的分析判断，以此类推，产生多级分析结果。当客户使用客户端设备查看信息时，各级分析结果按层次由高到低的顺序一并呈现在客户面前，为客户的决策提供强有力的参考。具体情况请访问网站：[data.ck.neau.edu.cn](http://data.ck.neau.edu.cn)

## 3.5 系统总体硬件设计—外壳设计

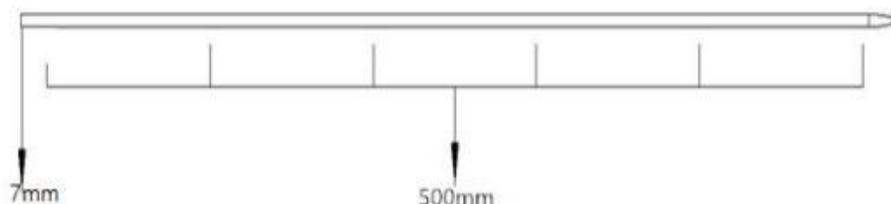


图 6 温度杆设计图

注：采用直径 7mm，长 500mm 碳纤维杆装配温度传感器

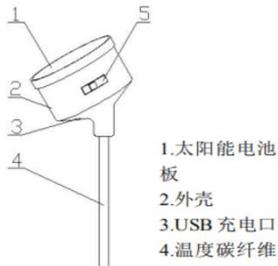


图7 GPRS 网关和北斗+GPS 双定位模块

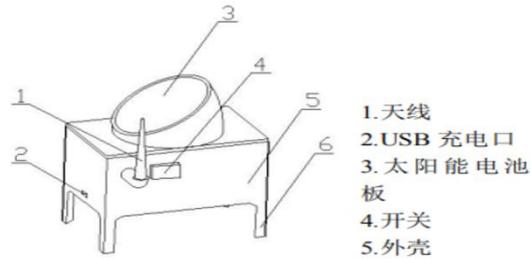


图8 Zigbee 协调器—GPRS 及电源模块外壳设计

### 3.6 工作原理及性能分析

#### 3.6.1 工作原理

系统主要由北斗导航定位模块、土壤信息监测模块、物联网通信模块和基于 Web 的网络数据平台四部分组成。土壤信息监测模块主要以数据采集、分析处理为主。初始数据格式：

temp: 温度信息起始标志	5: 五层土壤层测量	3: 第三节点
28. 5625.....27. 3125:	由 50cm 层.....10cm 层土壤温度	end: 温度信息结束标志

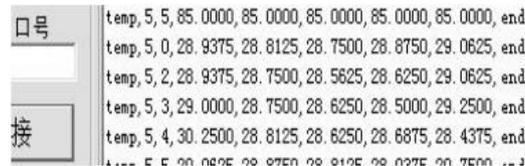


图9 网络接收端初始数据

物联网通信模块融合 Zigbee 组网通信及 GPRS 的 TCP 通信，将大范围物联网信息集成并与服务器连接。当土壤信息监测模块将测量数据通过物联网通信模块传输到数据平台后，数据平台通过已有的设定对数据进行实时显示和统计分析。包括土壤在不同深度下的水分含量、土壤的化学组成、土壤的生物种类和密度等等；可以完善气象上的一些设备，测量农田的光照强度和时时间、风速、降雨量等数据并上传，增加平台数据的丰富性。该项目将互联网、传感器和大范围远程无线网络相结合，最终形成了农田土壤环境信息监测系统。

#### 3.6.2 性能分析

(1) 性能参数：

各测温点通讯距离：0~20m；测温范围：-55℃~+125℃；精度：±0.5℃；电压：3.3~5V/DC；（最适电压 3.7V）

(2) 多层测温应用验证结果：

对比同类传感器平均误差：±0.45℃；传感器的稳定性：电压超出或低于适用范围时，误差将达到 1℃以上，3%~12%可能性读取传感器数据失败。（故使用 3.7V 锂电池作为电源及 TP4056 充电板）

(3) 北斗导航系统定位精准度测试：

我们测试北斗+GPS 双定位模块，模块调整的北斗卫星网络进行测试，测试效果良好，同时设置移动基站用来提高定位精度，定位精度达 0.5 米（田间移动基站提升了精度）。如图为移动基站测试和北斗定位模块测试。



图 10 移动基站测试和北斗定位模块测试

(4) 基于 WEB 数据网络数据平台性能测试：

数据平台经测试，GPRS 网络，北斗+GPS 双定位模块，土壤信息监测模块正常工作时，无信息丢失情况，但网站界面有待提高，应继续优化，更加人性化显示图像数据。可访问网站：[data.ck.neau.edu.cn](http://data.ck.neau.edu.cn)

### 3.6.3 作品实物图



图 11 GPRS 网关和北斗+GPS 双定位模块



图 12 土壤温度检测模块



图 13 物联网通信及供电模块

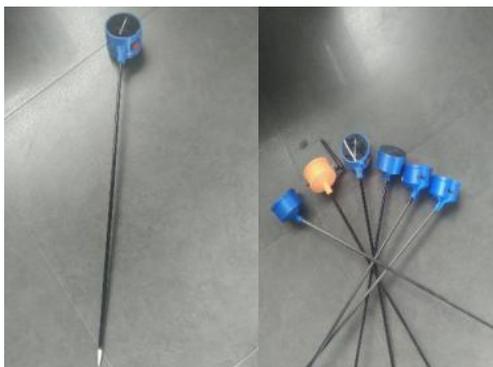


图 14 基于北斗导航定位的农田土壤环境信息检测设备

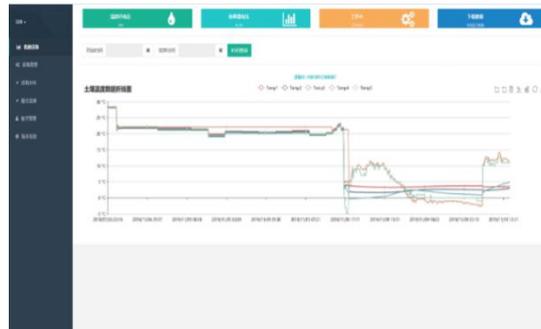


图 15 网站数据平台  
([data.ck.neau.edu.cn](http://data.ck.neau.edu.cn))

## 4 创新点及应用

### 4.1 创新点

1. 7mm 小直径碳纤维封装结构以及和细土封装使探测更精准，对土层的扰动较小；

2. 结合现有温度监测仪的优点，采用多层测温的方案设计，能更精细的探测土壤温度，实现了对不同土壤层的温度测量；

---

3. 基于北斗导航定位系统, 构建精准的农田温度网络, 近程节点无线互联与远距离移动无线互联结合, 满足多点广域农田温度场监测需求;

4. 建立土壤环境信息数据共享平台与人机交互式 APP, 方便信息的实时接收;

5. 全数字低功耗、太阳能寄生电容供电, 适合野外田间长期工作。

#### 4.2 应用

1. 土壤温度是作物生长的重要指标因素, 准确测定土壤温度在如今大力倡导的精准农业中具有重要意义。本系统可实现多点测温、可进行大范围实时监测的信息反馈, 基于北斗导航定位系统构建精准土壤温度网络, 更能应用于不同深度、不同广度土壤温度的测定;

2. 温度作为粮食储藏的重要因素, 基于北斗导航定位的农田土壤环境信息监测系统的设计制作可尝试在粮食温度测定中推广应用;

3. 可以用来研究各种农作物在温度变化条件下的生长状况;

4. 基于北斗导航定位系统, 同时采用 Zigbee 与 GPRS 结合的技术, 开发 Zigbee 低功耗模式, 设备耗能极低, 可控的采集大范围土壤信息数据;

5. 提高了科研工作者的工作效率, 减少了农民劳作时间。

### 5 设计制作总计

基于北斗导航定位的农田土壤环境信息监测系统的设计制作, 通过结合土壤信息监测模块、物联网通信模块和基于 Web 的网络数据平台四部分。较好地改进了农田土壤信息测量中土壤温度传感器结构针对性不足、测量插入方式不科学、温度传感器选择盲目、测量多个数据繁琐、数据处理单一化、测量后分析过程繁琐等缺陷。为实时监测土壤温度提供了可靠方法和解决方案。本作品能够与当今社会科技及产业的发展相结合, 促进农业生产智能化、自由化、生态化、大数据化。适应国家大力发展农业现代化、万众创新的趋势, 具有广阔的推广应用前景。

#### 参考文献

- [1] 张芸薇. 基于 ZigBee 无线传感网数据采集的设计与实现[D]. 大连理工大学, 2007.
- [2] 王小强. 基于 ARM 的 ZigBee 无线传感器网络设计与实现[D]. 电子科技大学, 2013.
- [3] 宫夏屹, 李伯虎, 柴旭东, 谷牧. 大数据平台技术综述[J]. 系统仿真报, 2014, 03:489-496.
- [4] 孟祥宝, 谢秋波, 刘海峰, 杨小英. 农业大数据应用体系架构和平台建设[J]. 广东农业科学, 2014, 14:173-178.
- [5] 孙玉文, 沈明霞, 陆明渊等. 无线传感器网络在农业中的应用研究现状与展望[J]. 浙江农业学报, 2011, 15(03):300-301.
- [7] 王殊, 阎毓杰, 胡福平, 屈晓旭. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2007 年第 1 版

---

# 基于 BDS/GPS 的教练车辅助驾驶系统

作者：丁耀宗、孙友鑫、郭艾雪、冷昕岳

指导教师：何丽娜

学校：河海大学

---

**【摘要】：**针对驾照考生数量井喷，考试时间相对集中，驾校教练人员不足以及教练车软硬件系统老化等问题，在发挥北斗创新应用优势的背景下，为解决驾考培训难题，本作品综合运用 BDS（BeiDou Navigation Satellite System）/GPS（Global Positioning System）定位、GPRS（General Packet Radio Service）通讯、Arduino 单片机等技术，设计了一套包括 Arduino 智能小车硬件系统和智能驾考模拟软件系统在内的教练车辅助驾驶系统。作品利用 BDS/GPS 双模定位、GPRS 通讯和 OneNET 物联网平台等技术设计并制作了教练车定位模块；利用 Arduino 主控芯片、超声波与红外避障传感器集成了 Arduino 智能小车。同时，基于百度地图 API（Application Programming Interface）设计和开发了智能驾考模拟软件系统。本系统旨在利用高精度定位和超声避障手段，借助通信与物联网平台，创建新型一站式驾驶技能培训解决方案，实现精确定位、安全防护、智能评判和平台监控功能。

**【关键词】：**BDS/GPS 双模定位、教练车、辅助驾驶、Arduino

---

## 1 背景及意义

北斗卫星导航系统是我国着眼于国家安全和经济社会发展需要，自主建设、独立运行的卫星导航系统<sup>[1]</sup>。按照三步走的发展战略，我国先后建成了北斗一号、北斗二号区域卫星导航系统，并于 2018 年年底建成了北斗三号基本系统，正式提供全球服务<sup>[2]</sup>。2019 年则以 7 箭 10 星的高密度发射，完成了核心星座的部署，2020 年将全面建成北斗三号系统。目前，北斗系统在亚太地区的定位精度优于 5m（95%），测速精度优于 0.2m/s（95%）<sup>[3]</sup>。伴随着北斗系统的快速建设和服务能力的大幅增强，其应用场景逐渐进入社会生产和人们生活等方面，在系统全面建成之际，进一步扩大北斗创新应用显得尤为重要。

目前，随着机动车保有量的迅速增长，驾车出行的交通方式逐渐普及，机动车驾驶人的数量也呈现同步增长趋势。截至 2019 年 6 月，全国机动车保有量达到 3.4 亿辆；机动车驾驶人 4.22 亿人，与去年同时期相比，增加 2576 万人。2019 年上半年全国新领证驾驶人数量达 1408 万人<sup>[4]</sup>。

随着每年新增机动车驾驶人数量的大幅增长，各类驾校大量涌现，驾校数量飞速增长的同时，也面临着教练人员数量不足和工作量巨大的难题。为了适应驾校日益增长的教练人员需求，解决传统驾考培训中存在教练人员不足的问题，使学员在培训过程中更好的练习驾考科目，本作品进一步扩大北斗与传统驾考培训领域的结合力度，着手建立基于 BDS/GPS 的教练车辅助驾驶系统，为灵活驾考培训提供技术支撑。

## 2 方案设计

基于 BDS/GPS 的教练车辅助驾驶系统由两部分组成，分别是 Arduino 智能小车硬件系统和智能驾考模拟软件系统。Arduino 智能小车硬件系统用来模拟智能驾考教练车，由主控制器下的四个模块构成，分别是数据处理模块（BDS/GPS 双模接收芯片和 GPRS 通信模块），避障模块，驱动模块以及转向模块。

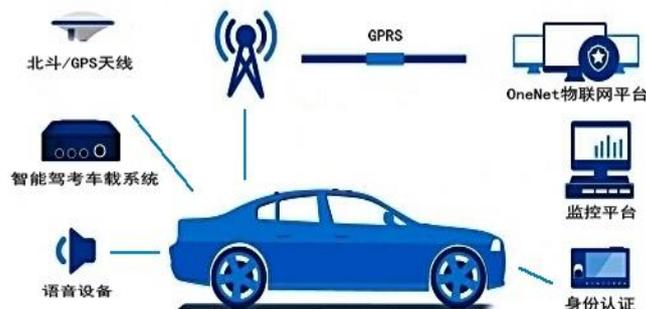


图 1 智能驾考系统拓扑关系示意图

其中，BDS/GPS+GPRS 模块可以接收北斗和 GPS 卫星信号，利用伪距单点定位获得智能小车的位置信息，通过 GPRS 功能将位置信息传输至 OneNet 物联网平台，经该平台中转，实现位置信息的实时显示<sup>[5]</sup>；避障模块通过超声波与红外线避障传感器相结合，采集智能小车前方的障碍物信息，并反馈至主控制器；控制器接收外部对小车下达的命令及避障模块回传的信息，经由 Arduino 主控芯片处理，通过驱动模块和转向模块控制小车的运行及自动避障；智能小车通过蓝牙将手机 APP（Application）与 Arduino 主控芯片连接，实现对小车的控制。智能小车硬件系统拓扑关系如图 1 所示，其中，智能小车用教练车表示。

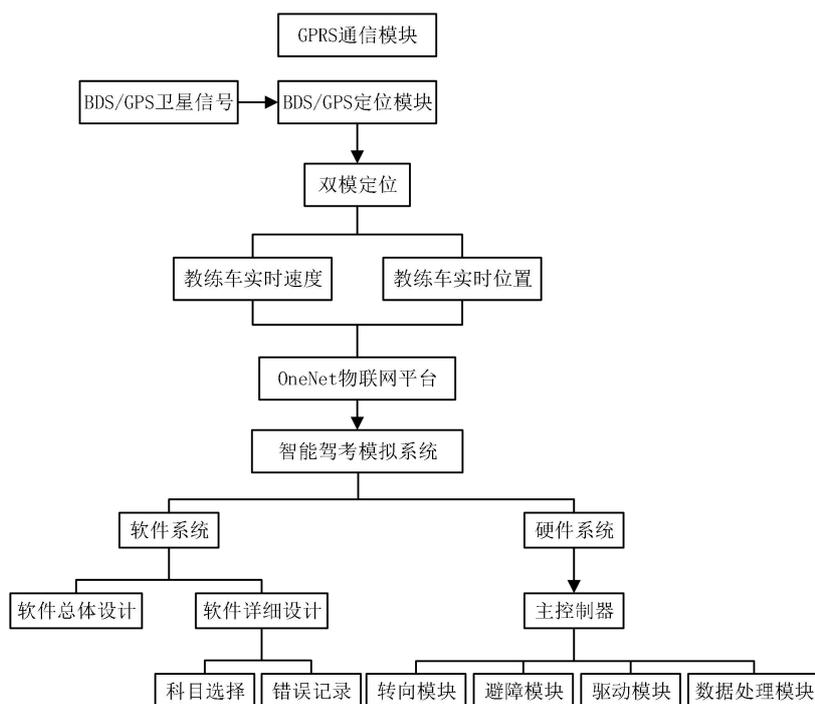


图 2 智能驾考模拟软硬件系统结构图

智能驾考模拟软硬件系统结构图如图 2 所示。智能驾考模拟系统是为配合智能小车的硬件部分，在百度地图 API 基础上开发而成。其主要功能包括收集 BDS/GPS+GPRS 模块提供的位置信息以及避障模块反馈的障碍物信息，并向用户反馈练习情况。智能驾考模拟系统主要包括三个模块：用户登陆，练习科目选择，练习错误信息记录。本节按硬件设计、软件设计和应用场景三方面分别阐述。

## 2.1 硬件设计

首先对硬件部分的设计思想和组成进行阐述，具体介绍智能小车主控制器、操作系统及两个关键功能模块。Arduino 智能小车如图 3 所示。

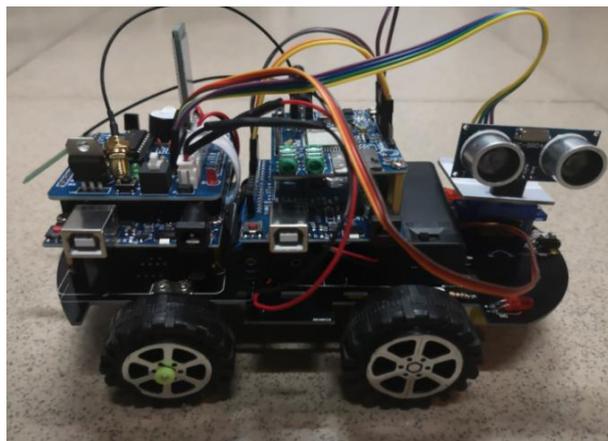


图 3 Arduino 智能小车整体构图

### 2.1.1 智能小车主控制器

本作品设计的 Arduino 智能小车作为教练车模型，用来模拟驾驶技能训练过程。智能小车主控制器是智能小车的控制中心，其主要由第一层的 Arduino 主控芯片以及第二层的综合电路板组成。其主要实现以下功能<sup>[9-10]</sup>：

① Arduino 主控芯片实现智能小车与电脑的连接，通过相应的编程环境实现智能小车的可编程化；

② 综合电路板包括蓝牙模块、微控器、线性稳压器等电子元件，实现对小车的控制、避障传感器反馈信息处理以及智能小车各部分模块的连接。

智能小车主控制器如图 4 所示。

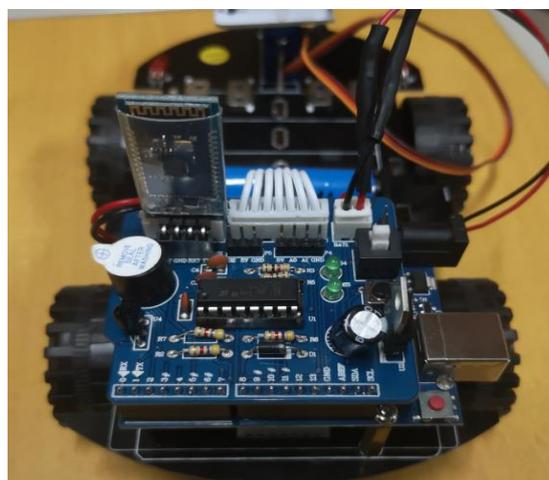


图 4 智能小车主控制器

### 2.1.2 智能小车操作系统

本作品为了模拟学员在训练过程中对教练车的控制，设计了智能小车操作系统。该系统通过手机蓝牙与智能小车连接，具体由以下两方面组成：

① 智能小车方向键：用以控制智能小车方向，包括前进、后退、左转、右转。

② 预留备用按键：可通过设置来控制智能小车的前进速度、传感器开关、自动行驶等功能。

### 2.1.3 BDS/GPS+GPRS 模块

本作品设计的教练车辅助驾驶系统需要获得车辆的位置信息。对此，本文设计了 BDS/GPS+GPRS 模块。BDS/GPS+GPRS 模块是为系统提供位置信息的核心模块，包括 MC20 模块、Arduino 单片机、电池组、卫星天线等。MC20 是一款基于 MT2503D 芯片平台开发的 GPRS/BDS/GPS 多功能模块，采用 LCC 主流封装，性能稳定，能够实现 BDS/GPS 双模定位与 GPRS 通信功能。BDS/GPS+GPRS 模块工作流程为：MC20 模块首先接收到 BDS/GPS 卫星信号，利用串口传送至 Arduino 单片机，经单片机解算得到位置信息，再经串口回传至 MC20 模块，最后由 GPRS 将位置信息发送至 OneNET 物联网平台<sup>[6]</sup>。BDS/GPS+GPRS 模块如图 5 所示。

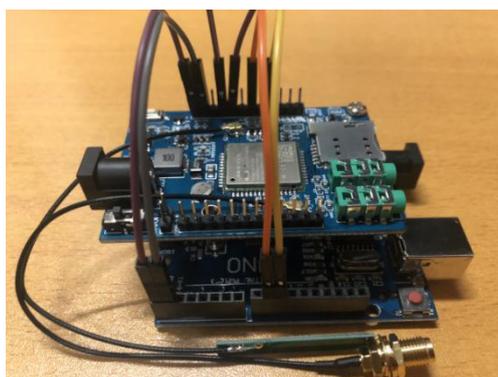


图 5 BDS/GPS+ GPRS 模块

为检验 BDS/GPS+GPRS 模块的工作性能，本作品进行了如下实验：利用 BDS/GPS+GPRS 模块实时采集 BDS/GPS 卫星信号，在单片机上进行伪距单点定位计算，生成包含解算结果的 NMEA0183（National Marine Electronics Association）协议的数据流，通过编写相关程序，对数据流进行解析，获取定位结果，通过与已知坐标相比较，以此验证定位模块的有效性。NMEA0183 协议的数据流如图 6 所示。

```
$GPTXT,01,01,01,ANTENNA OK*35
$GNGGA,011946.000,3155.18254,N,11846.90024,E,1,12,1.4,24.8,M,0.0,M,,*4C
$GNGLL,3155.18254,N,11846.90024,E,011946.000,A,A*41
$GPGSA,A,3,05,13,15,20,21,29,30,33,,,,,2.0,1.4,1.4*3A
$BDGSA,A,3,06,13,14,16,,,,,,2.0,1.4,1.4*27
$GPGSV,3,1,10,02,20,146,,05,39,072,49,13,60,035,50,15,75,293,53*71
$GPGSV,3,2,10,20,12,294,37,21,32,316,46,24,24,180,,29,32,239,24*7A
$GPGSV,3,3,10,30,12,044,40,33,67,056,42*78
$BDGSV,1,1,04,06,76,267,35,13,79,300,47,14,49,304,31,16,71,260,35*6C
$GNRMC,011946.000,A,3155.18254,N,11846.90024,E,0.00,0.00,171219,,A*7B
```

图 6 定位模块解算后生成的 NMEA0183 数据流

在本作品中，BDS/GPS+GPRS 模块解算出的坐标为东经：11X.XXX2956；北纬：3X.XXX9671，与已知坐标差异在米级以内。实验结果表明，BDS/GPS+GPRS 模块工作正常，能够接收 BDS/GPS 的卫星信号，数据完整，并能解算获得较高精度的定位结果。

#### 2.1.4 避障模块

在驾驶技能训练过程中，需要对车辆周围进行检测，判断是否有压线或车辆边缘触碰障碍物等情况。为此本文设计了避障模块，用来采集智能小车周围障碍物信息。其主要由超声波发生器及其两侧的红外线传感器组成，通过多个传感器进行障碍物信息收集，并将障碍物信息反馈至智能小车的控制模块。障碍物信息经控制模块处理，并通过智能小车各个模块相互配合，可以有效实现自动避障功能<sup>[7-8]</sup>。避障模块实例如图 7 所示。

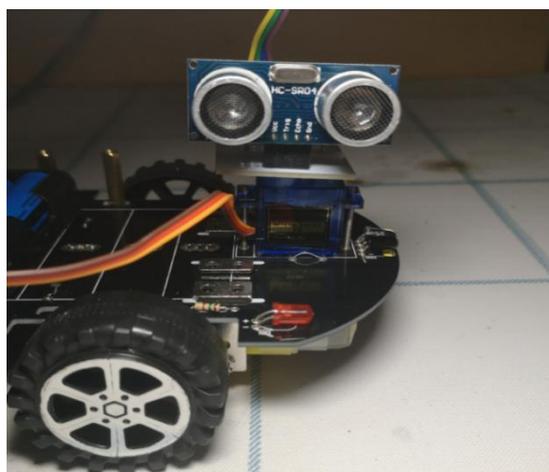


图 7 避障模块

## 2.2 软件设计

根据前述设计方案，对智能驾考模拟系统的构成与基本功能等方面进行阐述。智能驾考模拟系统界面如图 8 所示。



图 8 智能驾考模拟系统界面

为实现驾驶技能培训，配合智能小车硬件部分，本作品在百度地图 API 的基础上，设计了智能驾考模拟系统。其主要功能为：收集 BDS/GPS+GPRS 模块提供的位置信息以及避障模块反馈的障碍物信息，并向用户反馈练习情况。

该驾考系统具有“用户登录”功能，便于驾校学员进行身份确认。借助小车的 BDS/GPS+GPRS 模块，通过 OneNET 物联网平台可以获得小车的实时位置信息，并将位置信息与既定路线进行对比，从而确认小车行驶路线是否正确。同时智能小车携带有超声波和红外避障等模块，可确认其是否有压线或车辆边缘触碰障碍物等情况，借以记录考生练习出现的失误。通过上述功能，帮助学员练习掌握驾驶技能，发现问题所在，便于改正。



图 9 智能驾考模拟软件系统功能设计

智能驾考模拟系统主要具有以下三方面功能，其软件设计如图 9-10 所示。具体功能设计如下：

①用户登录：利用提供的账号与密码登陆，可实现多用户使用。

② 练习科目选择：选择练习科目，主要训练项目为：科目二的倒车入库、曲线行驶、侧方停车等；科目三的路线图、指定地点需执行的操作等。

③练习错误记录：根据 BDS/GPS+GPRS 模块提供的位置信息与避障模块反馈的障碍物信息，记录每个用户的练习错误信息。

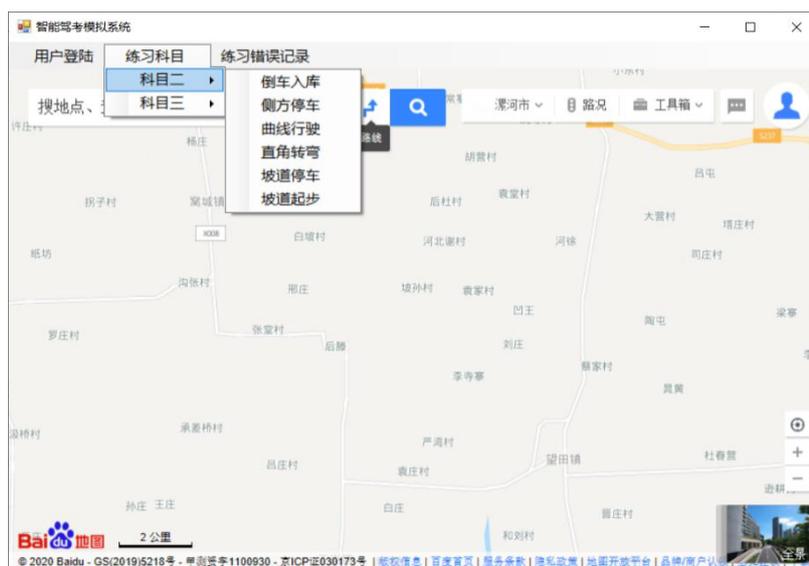


图 10 智能驾考模拟软件系统功能详细设计

### 2.3 应用场景

科目二练习场景的主要功能如图 11-12 所示，在操作控制平台上模拟了六种主要的科目训练要素，在教练车运行过程中，将卫星数量、定位结果、测速

结果等关键信息，实时传输反馈给软件系统，以便教练人员及驾考管理人员监控。

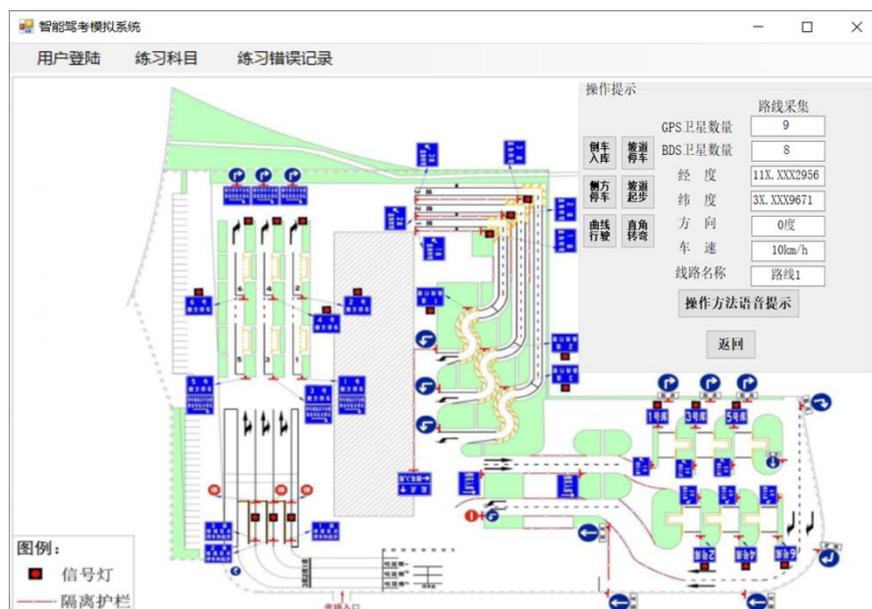


图 11 科目二场景的系统反馈



图 12 科目二场景的驾驶视角

针对科目三的路考，作品也有相应设计。在实现智能系统的精密定位和测速功能之外，充分发挥了基于超声波等传感器的避障功能，试图在紧急情况下提示并保护新手驾驶员的安全。其驾驶视角的模拟情况如图 13 所示，在系统界面的左侧，提示障碍物距离和相应的车控操作方法（图 14），右侧则显示教练车运行参数，包括定位的系统、卫星数目，实时经纬度，车速和路线等。



图 13 科目三路考场景的驾驶视角



图 14 科目三路考场景的避障演示

### 3 软硬件系统基本原理

#### 3.1 BDS/GPS 定位原理

卫星定位的基本原理是将卫星作为动态已知点，通过空间距离后方交会，求得接收机天线相位中心所在的位置。按照观测方式的不同，卫星定位可以分为相对定位和绝对定位，绝对定位也称为单点定位<sup>[11-12]</sup>。本作品中 BDS/GPS 双模定位模块采用的是伪距单点定位模式，原理示意图如图 15。

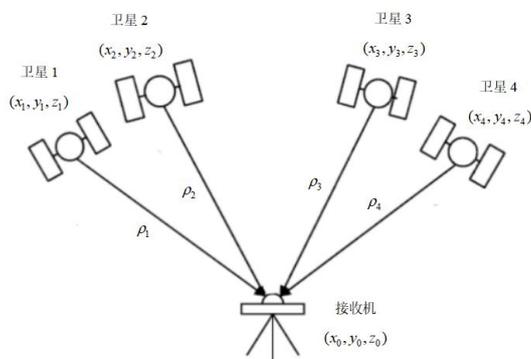


图 15 伪距单点定位原理图

其观测方程如下<sup>[17]</sup>：

$$\rho_i = R_i + c \cdot (\delta tr - \delta ts) + d_{trop} + d_{ion} \quad (3.1)$$

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} \quad (3.2)$$

公式(3.1)中,  $\rho_i$  为伪距观测值,  $R_i$  是卫星至接收机的几何距离,  $c$  为光速,  $\delta tr$  为未知的接收机钟差,  $\delta ts$  为卫星钟差,  $d_{trop}$  为对流层延迟,  $d_{ion}$  为电离层延迟。其中  $\delta ts$  可在广播星历中获取,  $d_{trop}$ 、 $d_{ion}$  可通过模型修正<sup>[13,17-19]</sup>。公式(3.2)中,  $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$  为卫星的坐标, 可根据广播星历计算得到。 $x_0$ 、 $y_0$ 、 $z_0$  为未知的接收机坐标。由于卫星钟差  $\delta ts$ , 对流层延迟  $d_{trop}$ , 电离层延迟  $d_{ion}$  三个参数可事先获得, 因此可对公式(3.1)变形得,

$$\rho_i + c \cdot \delta ts - d_{trop} - d_{ion} = R_i + c \cdot \delta tr \quad (3.3)$$

令式(3.3)中  $\rho_i + c \cdot \delta ts - d_{trop} - d_{ion} = d_i$ , 则式(3.3)可写为,

$$d_i = R_i + c \cdot \delta tr \quad (3.4)$$

式(3.4)中,  $d_i$  为经过卫星钟差、电离层、对流层改正过的伪距观测值。等式右边含有接收机坐标及钟差, 共 4 个未知参数, 因此至少需同时观测 4 颗卫星才能完成定位。式(3.5)-(3.8)为伪距单点定位观测方程。

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} + c \cdot \delta tr \quad (3.5)$$

$$d_2 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2} + c \cdot \delta tr \quad (3.6)$$

$$d_3 = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2} + c \cdot \delta tr \quad (3.7)$$

$$d_4 = \sqrt{(x_4 - x_0)^2 + (y_4 - y_0)^2 + (z_4 - z_0)^2} + c \cdot \delta tr \quad (3.8)$$

BDS/GPS 双模定位原理是单系统单点定位的延伸, 在时空基准统一的条件下, 根据卫星信息融合方式的不同, 实现 BDS/GPS 双模定位<sup>[11]</sup>。数据处理模块进行双模定位的流程图如图 16 所示。

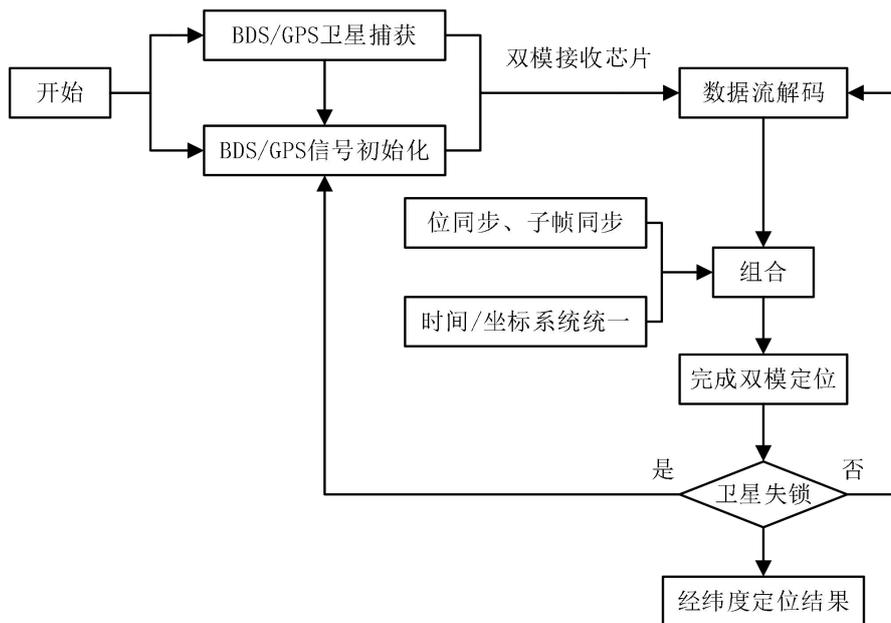


图 16 数据处理模块工作流程图

### 3.2 智能小车关键功能模块原理

#### 3.2.1 超声波避障模块原理

超声波与红外避障系统的主驱动为两个直流电机，电机驱动电路利用 H 桥驱动模块来驱动 2 个直流电机。该系统传感器模块为超声波与红外线结合的模式，利用传感器感应得到周围的障碍物信息，并传送至 Arduino 单片机，由单片机内置程序处理数据，进而完成自动测距、避障<sup>[14-15]</sup>。自动避障模块示意图及 SCH（Schematic）原理图如图 17-18 所示。

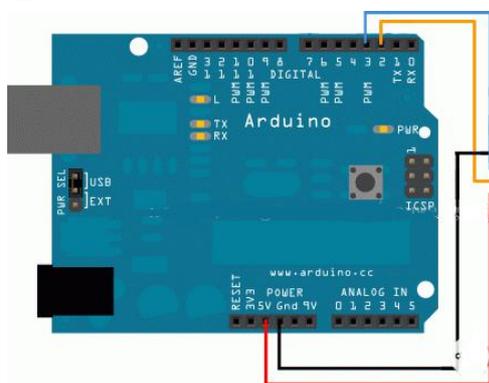


图 17 避障模块示意图

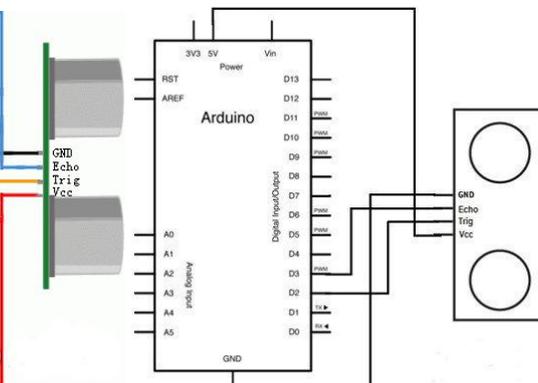


图 18 超声传感器 SCH 原理图

由避障模块的超声传感器播发并接收回波信号，进而在有回声情况下计算障碍物距离。当教练车距离障碍物小于设定阈值（如 2 米）时，由主控制器命令驱动模块及转向模块立即工作，同时进行语音预警消息提示，实现自动避障功能。避障功能实现的具体技术路线图如图 19 所示。

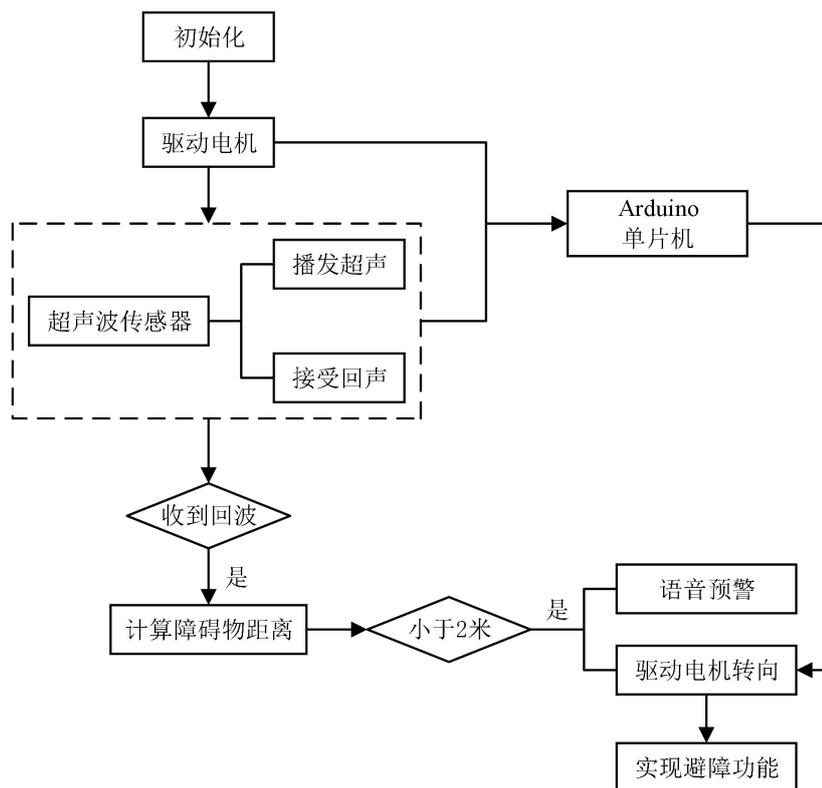


图 19 自动避障功能技术路线图

### 3.2.2 位置信息处理原理

本作品采用的位置信息接收模块为 MC20 模块。对于 MC20 模块，需使用命令从 NMEA0183 数据流中获取解算后的定位结果，如：

+QGNSSRD:\$GNRMC011949.000,A,3155.18254,N,11846.90023,E,0.00,0.00,171219.A\*73。其中“3155.18254,N,11846.90023,E”并非真实的经纬度信息，还需进一步处理。例如：原始数据为 AAB.BBBB，纬度，AAAB.BBBB，经度。解析算法为：真实纬度 = AA + (BB.BBBB) / 60，真实经度 = AAA + (BB.BBBB) / 60。此时获取的是真实的经纬度信息。

位置信息处理模块是在百度地图 API 上进一步开发完成的，作为智能驾考模拟系统的核心，利用 OneNet 物联网平台传来的位置信息，实时显示在百度地图上，并与预定路线进行比较，当不符合规定路线时，进行错误信息提示。位置信息接收与处理模块原理如图 20 所示。

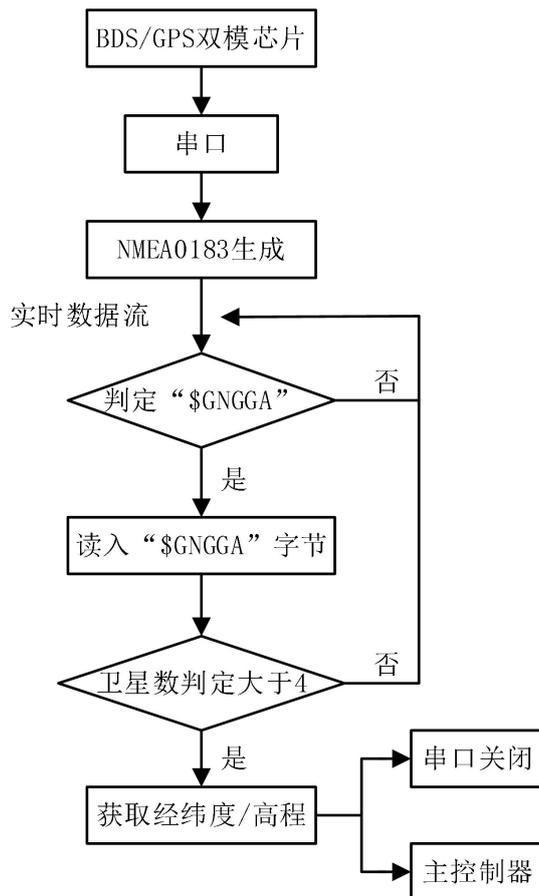


图 20 位置信息处理模块原理图，以 GNGGA 命令为例

### 3.2.3 智能小车主控制器工作原理

Arduino 单片机是一款开源 USB 接口板，并有类似 C 语言的软件开发环境。Arduino 单片机能收集并处理各类传感器反馈的周围环境信息，并且通过智能小车上电动机、蜂鸣器、灯光等装置进行相应动作，以调整小车的状态。Arduino 单片机的编程是利用 Arduino 编程语言和 Arduino 开发环境来实现，通过 Arduino 编程语言编写的程序，可以编成二进制，烧录到小车的微控制器中<sup>[16]</sup>。因此，我们可以通过为智能小车写入各种程序，实现我们对智能小车的各项功能需求，以便更好的模拟真实情况。

## 4 结束语

针对目前驾校学员大幅增加而教练人员短缺的现状，本作品充分发挥北斗系统在驾考培训领域中的优势，设计了基于 BDS/GPS 的教练车辅助驾驶系统，主要包含 BDS/GPS+GPRS 模块及避障模块的 Arduino 智能小车组成的硬件系统，以及用于实时信息反馈的软件系统。其中，BDS/GPS 定位模块负责实时获取智能小车的位置信息，而超声波与红外线避障模块负责采集周围的障碍物信息。二者结合，即可以实现对教练车练习状态的判断，满足了驾考培训的实际需要。同时本作品提供了配套的智能驾考模拟系统，方便学员查看练习中所出现的问题，便于学员进行针对性练习。基于 BDS/GPS 的教练车辅助驾驶系统，充分发挥了北斗创新应用的优势，提高了驾考学员的学习效率，缓解了驾考从业人员工作压力，并保证驾驶技能训练的质量，具有较强的创新性和实用价值。

---

## 参考文献

- [1] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报, 2010, 39(01):1-6.
- [2] 黄超, 宋淑丽, 陈钦明, 等. 基于 iGMAS 的北斗三号组网星数据初步分析[J]. 天文学报, 2019, 60(02):52-63.
- [3] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统发展报告(4.0版)[EB/OL]. <http://www.beidou.gov.cn/xt/gfxz/201912/P020191227337020425733.pdf>, 2019-12-27.
- [4] 商讯. 2019 上半年全国机动车保有量达 3.4 亿辆[J]. 商用汽车, 2019(07):7.
- [5] 方志鹏, 王帅, 谢正华. 基于 BDS 和 GPRS 的智能汽车定位器设计[J]. 中国新技术新产品, 2018(22):22-24.
- [6] 吴东东, 朱苏磊. 基于单片机的 GPS 定位显示设计[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2016, 45(01):21-27.
- [7] 帅盼, 张海宁, 白福, 等. 基于超声波测距的汽车倒车避障系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(10):54-57.
- [8] 史焯桦, 汪地, 万兵, 等. 基于 Arduino 多传感器的智能小车避障系统设计[J]. 计量与测试技术, 2018, 45(09):16-19.
- [9] 辛光红. 基于 Android 系统的 Arduino 智能车设计[J]. 电脑与电信, 2014(03):62-64.
- [10] 吴波涛, 孔金平, 王湘. 基于 Arduino 和树莓派的智能小车的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2017, 25(15):58-61.
- [11] 王强. GPS/BD2 双模接收机定位算法的设计与实现[D]. 东南大学, 2016.
- [12] 高星伟, 过静珺, 程鹏飞, 陆明泉, 丁志刚, 秘金钟, 成英燕, 敖翔, 祝会忠. 基于时空系统统一的北斗与 GPS 融合定位[J]. 测绘学报, 2012, 41(05):743-748+755.
- [13] 唐卫明, 徐坤, 金蕾, 文雪中. 北斗/GPS 组合伪距单点定位性能测试和分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(04):529-533.
- [14] 徐开军, 刘飞龙. 基于 Arduino 平台的多功能智能小车的设计[J]. 电子世界, 2016(24):112-113.
- [15] 蔡睿妍. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程, 2012, 20(16):155-157.
- [16] 徐静, 李欣欣. 智能循迹避障小车的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(24):191-193.
- [17] Chunming F, Qinglin G, Zhengping Z, et al. Fuzzy weighting approach for single point positioning with single-frequency pseudo-range observations[J]. Advances in Space Research, 2018, 63(9):2982-2994.
- [18] Beran T, Langley R B, Bisnath S B, et al. High-Accuracy Point Positioning with Low-Cost GPS Receivers[J]. Navigation, 2007, 54(1):53-63.
- [19] Weiming T, Mengtang H, Jianhui C, et al. Accuracy analysis of BDS multi-frequency pseudo-range single point positioning[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016.

---

# 北斗驱鸟智能小车

作者：赵君浩、国艳鹏、李洋森

指导教师：程争

学校：中国民航大学

---

**【摘要】** 本项以设计驱鸟智能小车为目的，解决机场或者其他场地鸟类过多干扰正常功能进行的问题。小车通过北斗导航系统实时定位，自主巡逻避障（以超声波模块 H-SR04 实现功能），蜂鸣器发出尖锐的声音来达到驱鸟的作用。其中小车通过 STM32 单片机驱动控制小车电机及其驱动控制模块的 l298n 实现驱动车轮的高速转动，通过电机进行自动调节 PWN 波的占空比就可以实现转弯。

**【关键词】** 北斗卫星导航系统，STM32 单片机，电机驱动模块，超声波，蜂鸣器

**【Abstract】** This project is designed for the purpose of driving bird intelligent car, to solve the problem that too many birds in the airport or other sites interfere with the normal function. Through BeiDou real-time positioning, autonomous patrol to avoid obstacles (to achieve the function of ultrasonic H-SR04), it buzzer issued a sharp sound to achieve the role of driving birds. The car is programmed by STM32 microcontroller to control the motor drive module l298n to achieve wheel rotation, by adjusting the duty ratio of PWN wave to achieve turning.

**【Key words】** BeiDou Navigation Satellite System, Ultrasonic, STM32 MCU, Motor Drive Module, Buzzer

---

## 1 引言

当前国力的强盛与社会经济的飞速发展，飞机已经逐渐发展成为我们现代社会人们常常所使用的一种重要交通工具，所以其乘机出行的交通安全性就显得尤为重要，根据最近几十年来的相关调查数据统计资料分析显示，由于受到鸟类的猛烈撞击等而引起的交通事故数不胜数。故通过这些实际事例的总结，本文设计了一款以北斗导航系统为主要基础的智能小车，该小车能够在需要驱鸟的场地有序前进，同时通过发出的超声波信号进行判断位置，通过蜂鸣器的发声实现驱赶鸟类的功能

## 2 系统总体设计方案

驱鸟小车系统的结构框图如图 1 所示。

小车的系统运用模块化的设计方案，以此来安装与维修更加便利。方案主要用机械车本体，结合超声波模块，北斗定位模块，STM32 单片机组成。

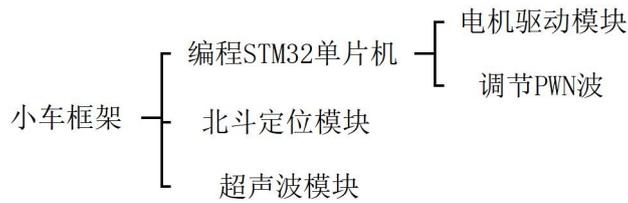


图 1 结构总体框图

### 3 小车的硬件设计

#### 3.1 控制模块

该设计以 STM32 单片机为核心控制。它本身具有一个非常大的市场使用量和用途极为广泛的 arm 内核,具有低功耗、高性能、抗干扰力强且使用价格便宜等诸多优点。众多网络接口与通信控制模块使小车有了向不同方向发展的可能性。

#### 3.2 电机驱动模块

本项目采用 4 个小型直流电机,同时将它安装在驱鸟小车的底板,分别用来驱动四个车轮的运动。直流高压电机系统具备驱动体积小、转动快和力矩大、重量轻、控制及时和组装方便等多种优点,被广泛应用在大型智能车和小车的驱动控制模块当中。<sup>[1]</sup>1298n 是一款能够接受高工作电压的动力电机直流驱动器,在 6v 到 46v 的工作电压温度范围内,提供 2A 的驱动电流,并且同时具有电压过热电流自断和电压反馈电流检测两种功能。且 1298n 其输入端能够直接与单片机相互连接,从而使得单片机能够更方便地对其输出信号进行控制。1298n 型控制芯片还可以能够直接自动控制小型直流稳压电机,仅需你通过手动改变两路输出端的一个逻辑输出电压水平,即时就可以直接实现直流电机正转和反转的控制功能。故本设计选择 1298n 作为小车的驱动电机。当两台直流电机的转速相同时,智能电动小车就同样可以自动实现一个前进或者是后退的加速动作;当两台直流电动机的转速相同时,智能小车就会自动完成一个转弯的动作。

#### 3.3 北斗定位模块

北斗导航服务向全球提供定位、测速等服务,定位精度达到了 10m,测速精度 0.2m/s,授时精度 10ns。

智能车使用 ATGM336H 高性能 BDS /GNSS 定位导航模块确定环境检测车的实时位置。ATGM336H 这是一款六合一多模卫星定位导航系统模块,包含 32 个卫星跟踪信号管理数据通道。我们不仅可以通过系统接受六个多模卫星定位导航的一个 GNSS 跟踪信号,并且我们能够轻松实现各个企业之间联合共同发展卫星定位、导航授时。<sup>[2]</sup>该卫星导航模块具有高灵敏度、低功耗、低成本等优点。同时,ATGM336H 主要接口信号管脚兼容,安装孔一致。更重要的是可以替换 MAX 系列 U-BLOX 的模块,常见的应用于大型车载、船载卫星定位与航空导航、高标准精度授时、可便携式穿戴移动设备、手机,平板以上电脑等。

下面是有关本项目北斗驱鸟小车热启动、温启动、冷启动的详细阐述。

冷启动是指在一个新的环境下启动 GPS,一直到 GPS 联系上了周围卫星并且计算出新的坐标的启动过程。初次使用时、电池耗尽导致星历信息丢失时、关机状态下将接收机移动 1000 公里以上距离均为冷启动。GPS 接收机失去卫星参数,或者已经存在的参数和实际接收到卫星参数存在不吻合的情况,使得

---

工作无法正常的进行，故必须重新获得卫星提供的坐标数据，这也是搜星时间长的原因。

热启动是指在上次关机的地方没有过多移动启动 GPS，但距离上次定位时间必须小于 2 小时。<sup>[3]</sup>搜星机的启动时间一般在冷启动与温启动的时间之间。如果前一次使用了定位，那第二天的第一次启动就为温启动，位置会实时更新。因为关机时间过长，经纬度和高度变化过大，失去了联系，故需要补充位置。

本项目北斗驱鸟智能小车特点：低功耗： $<25mA$ （双模连续跟踪并且定位）；内置天线检测电路；内置天线短路保护功能。技术指标：通道数目有 32 通道；冷启动捕获灵敏度： $-148dBm$ ；跟踪灵敏度： $-162dBm$ ；定位精度： $2.5m$ （CEP50，开阔地）；模块尺寸： $9.7mm \times 10.1mm \times 2.4mm$

### 3.4 避障模块

一般来说，在中国智能小车的总体设计中，避障有两种主要方式：超声波避障和红外线避障。有许多种类的声波反射，超声波是其中之一的反射，具有强大的反射能力，其频率高达  $20kHz$ ，同时具有反射能力强、方向性良好以及许多其他优点。在医疗、工业生产等领域广泛应用。测距的原理是基于声波反射的特性。控制器的计时器开始发出声波，当声波遇到障碍物时，声波会反射回来。当接收器接收到反射信号时，计时同时中断，可得到从开始到结束的时间。超音波以空气为媒介传播，即音速是  $340 m/s$ ，即实际距离 =  $(\text{时间} \times \text{音速}) / 2$ 。与红外线测距相比，超音波有更简单的结构，快速的测定及成本低的优点。其中，HC-SR04 型超声波测量模块用于车辆的避障功能，有控制电路、接收机、发射机和超声波，测距精度为  $3mm$ ，非接触距离检测，范围为  $2-400cm$ 。<sup>[4]</sup>

## 4 小车的软件设计

驱鸟小车仅拥有硬件部分的话还不能工作，必须配有软件才能完成相应功能的实现。C 语言编程的利用来实现其行驶功能的进行。C 语言拥有简单易懂，实用性强的优点。当驱鸟小车准备行驶时，持续反复扫描 STM32 型单片机 I/O 口接收并采集的各模块信号，经过相应的控制处理后，驱动电机动作使小车进行转动与转弯，并决定是否利用蜂鸣器发声驱鸟。<sup>[5]</sup>



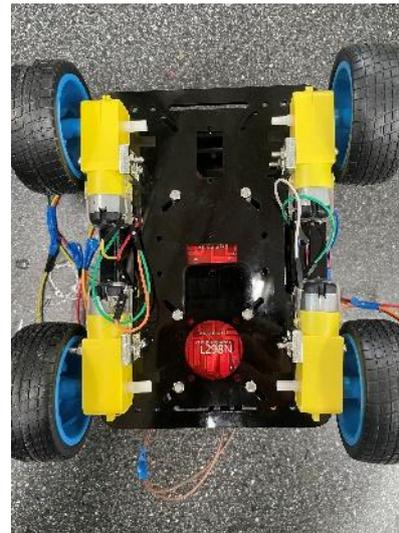
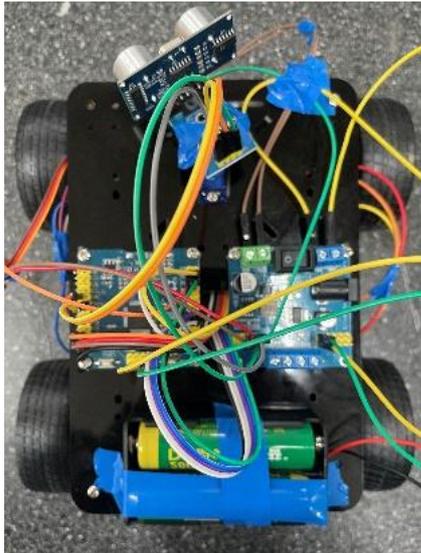


图 4 驱鸟微型小车车体实物图正面 图 5 驱鸟微型小车车体实物图反面

在不断地试验与调试后，该驱鸟小车可以按照设定好的程序进行相应功能的实现，且系统运行稳定，使小车实现了驱赶鸟类及避障的功能。

## 6 结论

本研究项目经过研究并创新设计了以微型 STM32 单片机为自动控制系统核心,结合微型北斗卫星导航系统可以实现微型小车的自动精准转向定位；同时利用微型电机车轮驱动控制模块 L293D 实现微型车轮驱动向前、向后、左右驱动转向等；同时利用微型超声波小车避障控制模块 HC-SR04 实现小车避障控制功能。通过 C 语言进行了软硬件之间的协调。在多种室外环境进行了性能测试，测试结果表明：驱鸟小车可以适应多种特定场景完成鸟类的驱赶，达到了预计的功能设定。

不仅如此，由于各模块的多样性，在未来本项目的的作用不仅仅只有驱鸟这一个作用，结合蜂鸣器与超声波探索的功能，小车可以发展成为服务人类的智能机器人小车。通过不断的改进与测试，小车可以探索人类还未踏入的危险地带为人类探索新地域，结合 3D 成像扫描直接在电脑上呈现图像；在防水和抗压做的极其良好的改造下，本项目小车可以去人力不能及的危险地带利用声呐探索新世界或者驱赶鱼群。以上就是本项目在完成驱鸟功能后发展的方向。

---

### 参考文献

- [1] 张秉森, 马吉忠, 杨一飞, 张敏, 毛汉奎, 吴丽丽 基于树莓派的自动避障小车的设计与实现, [J]. 南方农机. 2021, 52(03).
- [2] 张树宁, 王尔申, 徐嵩, 祝俊杰, 陈玺光, 马毓徽, 王君, 王紫欣 基于北斗卫星导航的环境检测智能车系统设计[J]. 电子器件. 2020, 43(05).
- [3] 于海亮, 胡小平, 唐康华 惯性信息辅助高动态接收器捕获问题的研究[J]. 航天控制. 2008(05).
- [4] 赵俊杰, 张艳芬, 崔凯 基于 STC89C52 单片机控制的智能小车设计[J]. 电子制作. 2020, (23).
- [5] 张延丽, 赵前, 金琦淳 多功能智能小车的控制系统设计[J]. 电子测试, 2020(17):15-17.