



山东大学

SHANDONG UNIVERSITY

室外远程驾驶无人车项目

成果转化:

第十八届全国大学生智能车竞赛室外赛国家级一等奖（全国亚军）

第十一届“大唐杯”新一代信息通信技术大赛产教融合5G+创新赛道省级二等奖

第十九届山东大学（威海）大学生科研训练项目三等奖

.....

► 立项时间：2023.3 — 2023.12



室外远程驾驶无人车团队（全员推免）



“自主导航”任务负责人



李志坚

团队队长

山东省优秀学生

两年国家奖学金

推免（直博）：
中国科学院大学

“网联驾驶”任务负责人



周天宇

电赛省一

智能车“极速越野组”负责人

推免：
天津大学



张宇

“完全模型组”国一第五名

直博：北京航空航天大学



何延懋

“四轮摄像组”国二

推免：哈尔滨工业大学



刘跃升

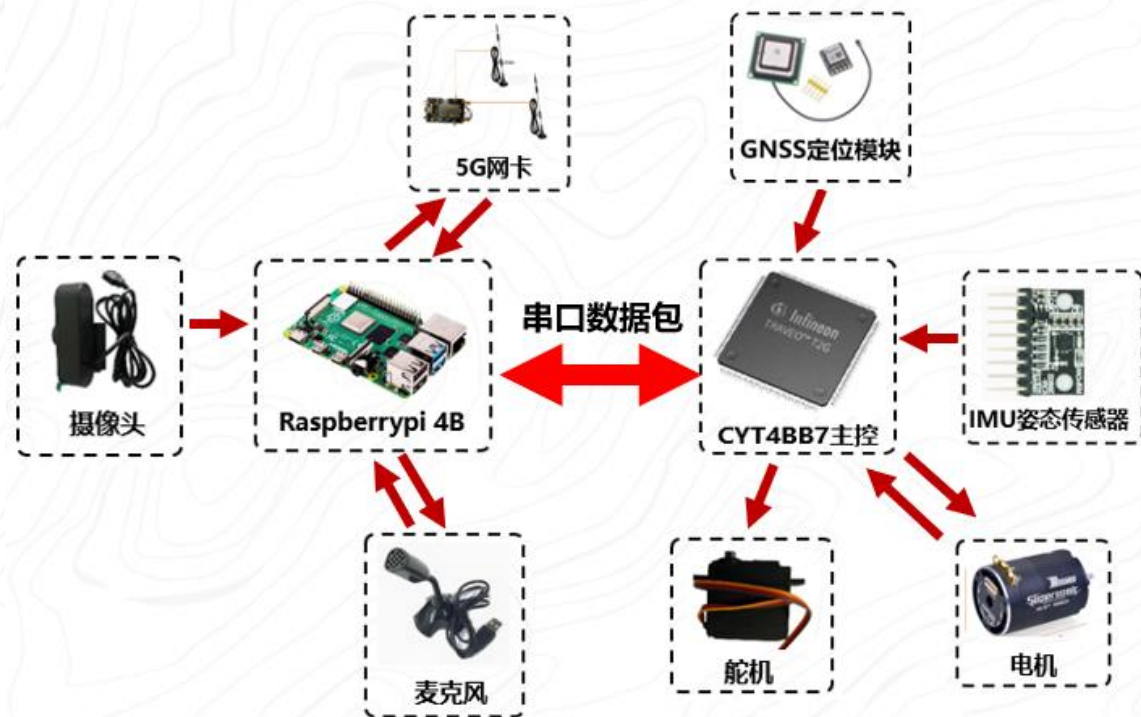
科研立项负责人

推免：哈尔滨工业大学



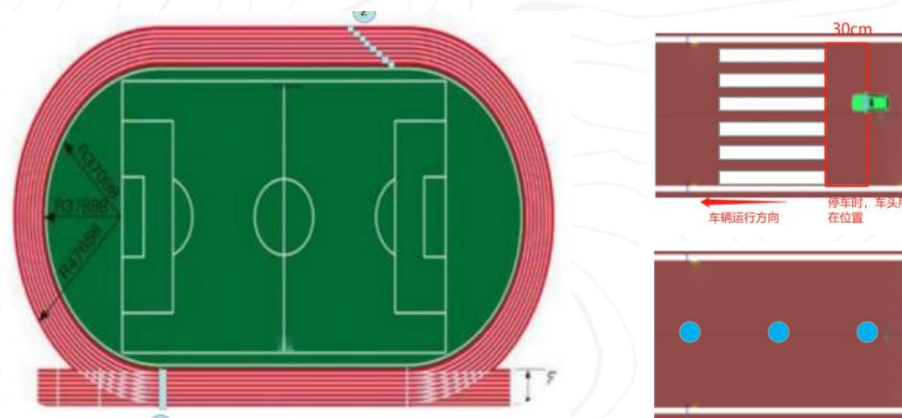
远程驾驶无人车项目任务简介

无人车系统组成框图：



根据以上框图搭建的车模，具备视觉、听觉、姿态、定位感知能力，也可以通过5G网络与外界交互。必要时可以进行多传感器融合完成比赛任务。

赛题要求：



在标准室外操场下：

车模运行一圈

半圈网联驾驶

半圈自动导航

在运行过程中，会遇到**人行横道、锥桶、黄线、二维码**等元素，车模应该准确的识别并做出正确的决策，速度越快排名越高。



基本功能:



网联驾驶



负责工作· 搭建远程驾驶平台

搭建远程驾驶平台

- ✓ 实时图像传输
- ✓ 实时位置监控
- ✓ 网页远程控制
- ✓ Frp内网穿透
- ✓ 前端网页设计
- ✓

难点

- 远程驾驶对实时图像传输要求高，图传不能出现卡顿或延迟。

创新点

- 搭建自己的远程驾驶平台，图像传输更快、功能更多样。
- 自行搭建、配置服务器，实现内网穿透

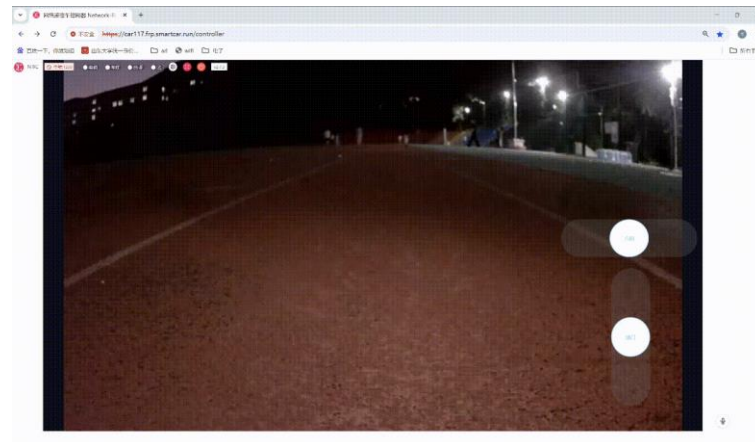


图1 官方提供的方案

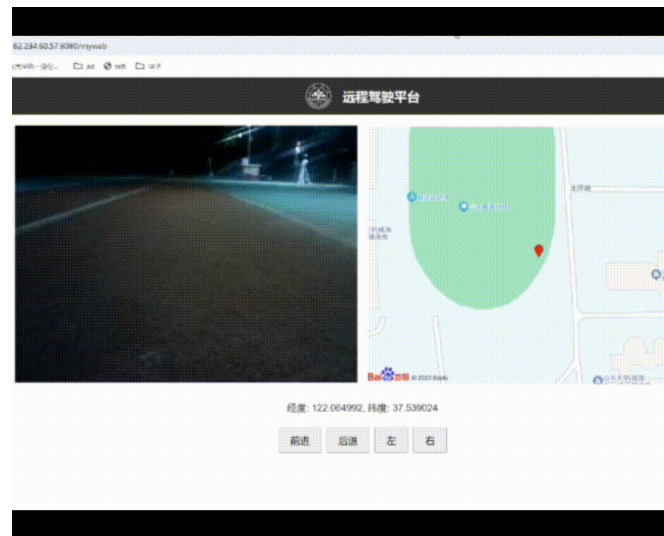
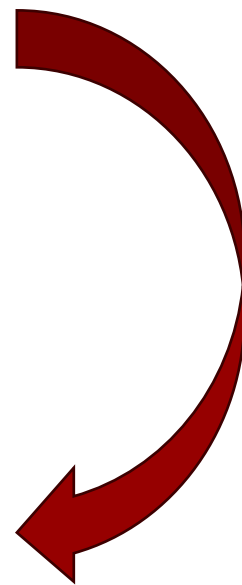


图2 自行搭建的远程驾驶平台

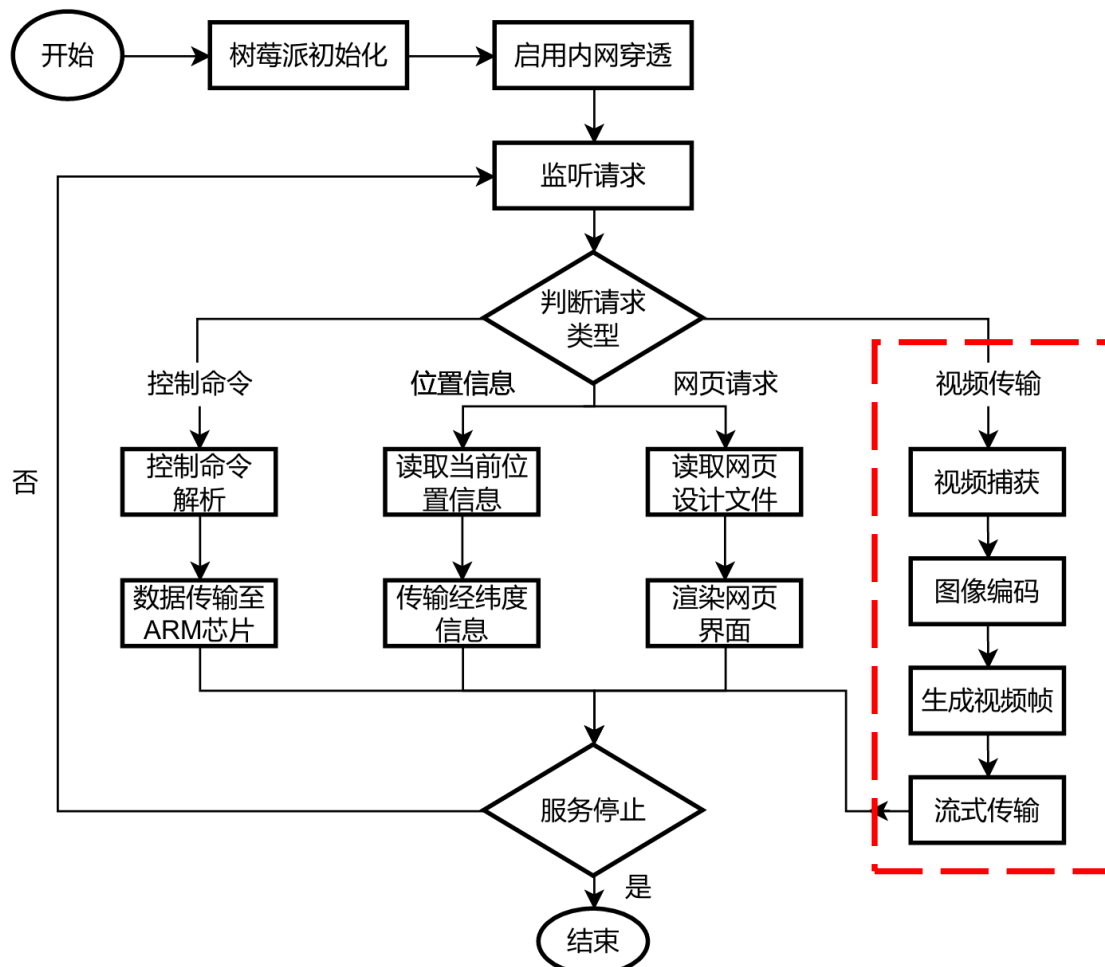




负责工作· 搭建远程驾驶平台

1

树莓派端相关服务



优势

- Flask轻量级Web框架，**占用内存资源少**
- 使用流式传输方案，逐步发送视频帧，**延迟低**，

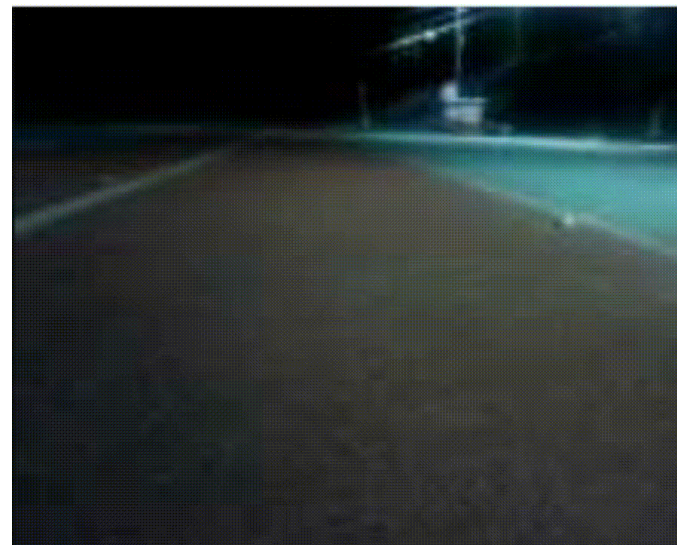


图2 视频流传输效果

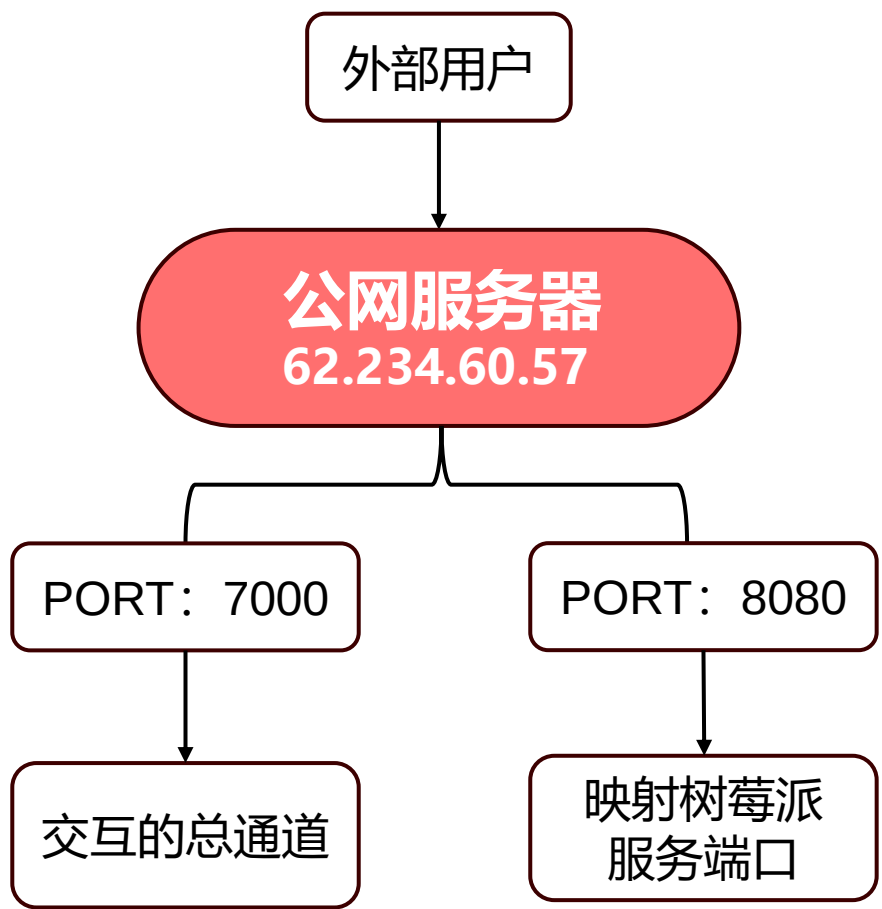
图1 系统整体程序设计



负责工作· 搭建远程驾驶平台

2

frp内网穿透



将局域网中的服务暴露给外网访问的技术。

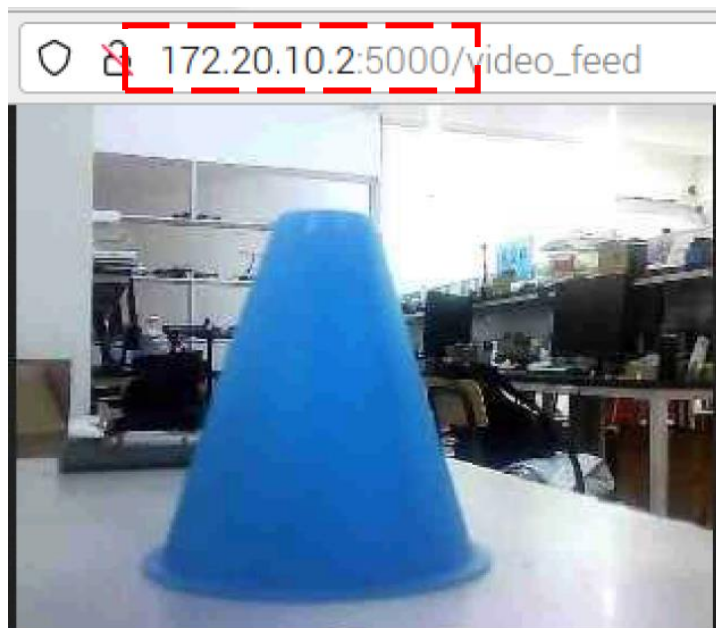


图1 树莓派端口服务

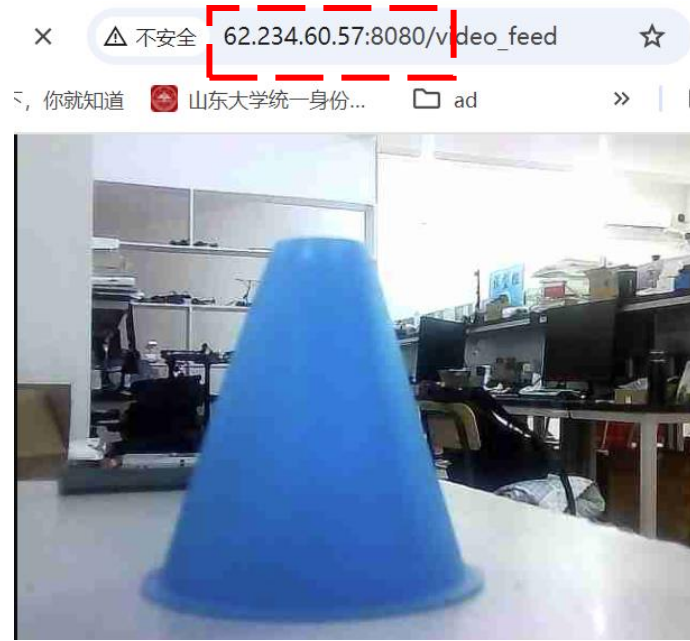


图2 外网访问内网服务



负责工作· 搭建远程驾驶平台

3

前端网页设计

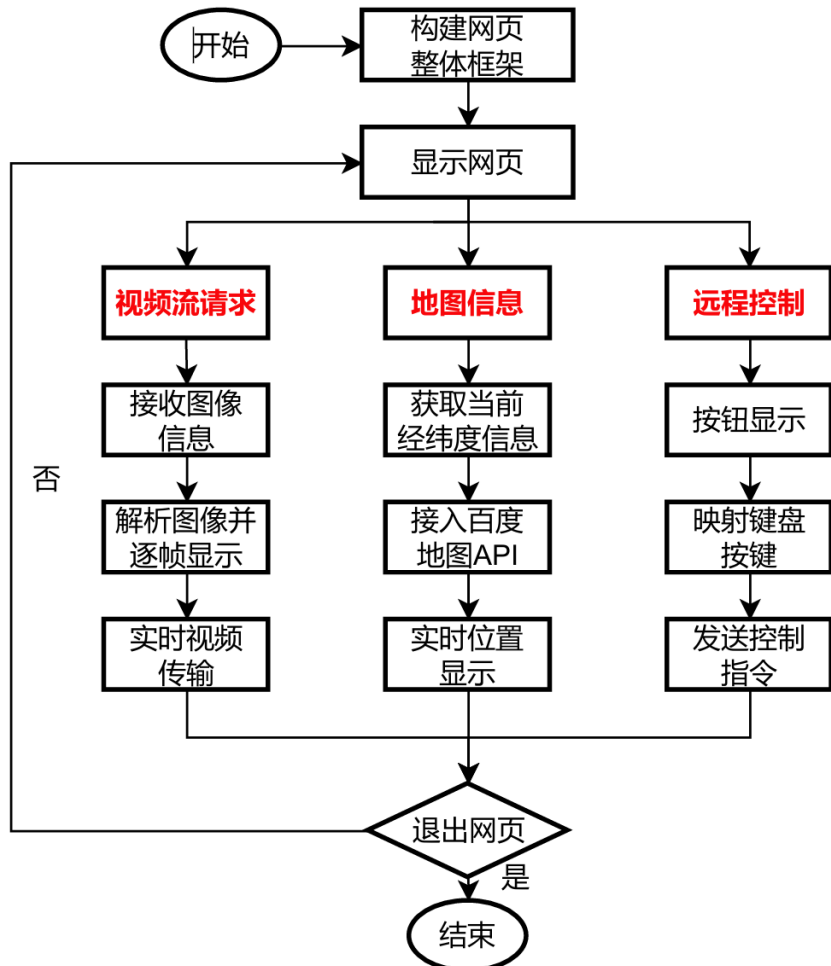


图1 网页设计流程图

通过腾讯云服务器与 Frp 的组合, 本项目成功实现了内网穿透。



图2 网页界面



基本功能:



视觉导航



机器视觉之图像处理开发综述

Raspberry 4B两种主流开发方式



Python

C++

纯C++开发:



实时性好，鲁棒性高:

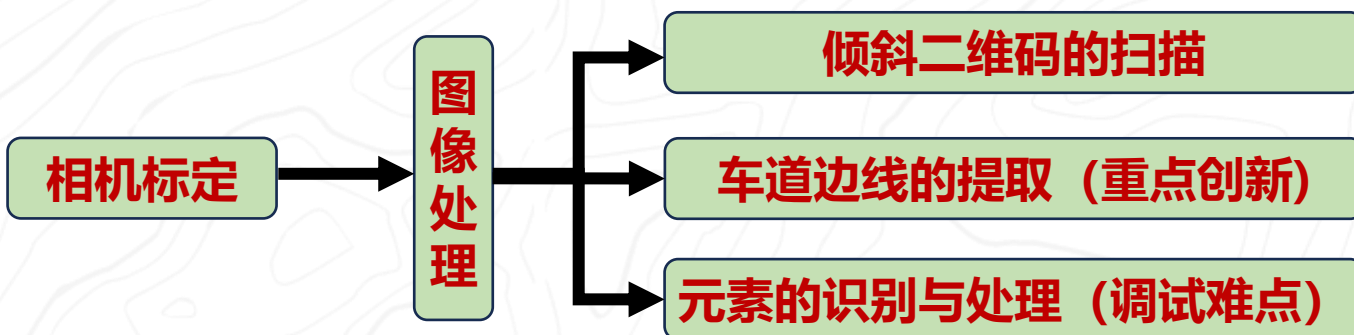
处理一帧 320×240 大小的图像的平均时间优化到**32ms**

+

官方摄像头最高支持30帧

=

达到最快视觉循迹速度，室外自主导航平均速度**3.39m/s**





机器视觉预处理（相机标定）

张正友棋盘格标定法



图1：20张棋盘格图片

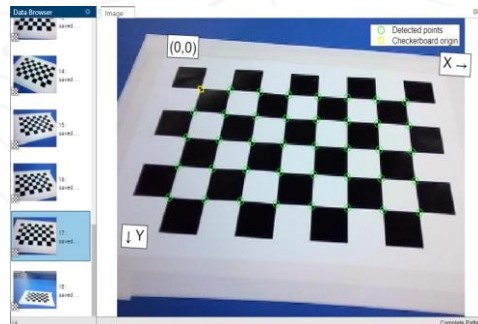


图2：Matlab标定过程

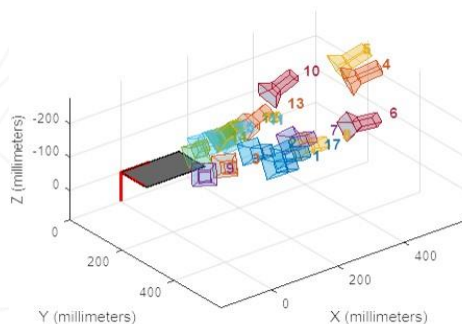


图3：测试相机与平面位置

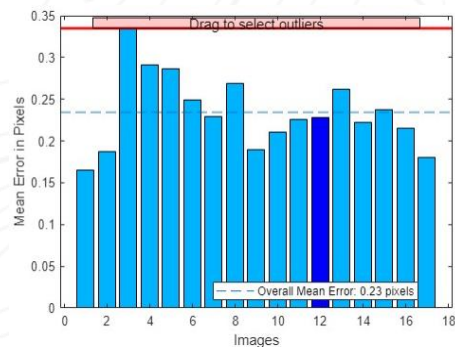


图4：平均像素误差



由于要进行**视觉像素定位、车道线提取**，而且相机的**畸变较大**，有必要进行**相机标定和去畸变处理**

标定结果

相机内参矩阵(Intrinsic Matrix)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 391.8510 & 0 & 184.3894 \\ 0 & 427.5432 & 151.1213 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

径向畸变系数(Radial Distortion)

$$k1 = 0.0923268707, k2 = -0.1474193186, k3 = 0.0$$

切向畸变系数(Tangential Distortion) (**直接忽略**)

$$p1 = 0.0000, p2 = 0.0000$$

Reference: Zhang Z . A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 2000 , 22(11):1330-1334



图像处理任务（倾斜45°二维码扫描）

利用**几何定位**结合**仿射变换**，将倾斜二维码转化成正视图，然后使用Zbar库的接口进行二维码识别



一张倾斜二维码



亮度对比度调节



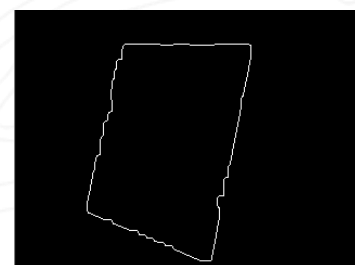
双边滤波



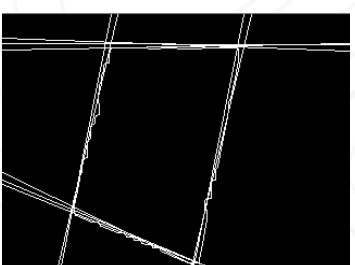
反二值化



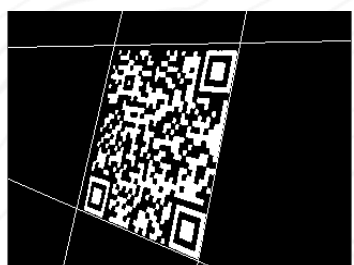
形态学闭运算



Canny边缘检测



Hough变换



定位四个顶点



仿射变换



Zbar

Decoded QR-Code symbol
"Hello! This is ShanDong University!"



图像处理任务 (车道线提取) (重点)



智能车室内赛道



智能车室外赛道

室内仿真赛道上尝试传统扫线循迹方法



室外图像处理的挑战性?

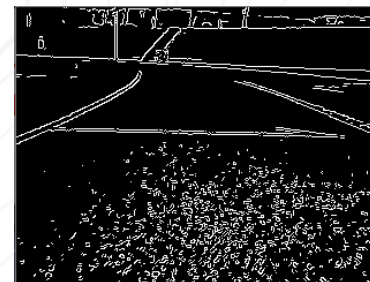
1. 光线强度的不确定性、不均匀性 (比如烈日、阴天)
2. 操场地面的一些颗粒, 产生的反射严重
3. 历经风雨的操场, 跑道线已经变的不清晰, 而且有杂线



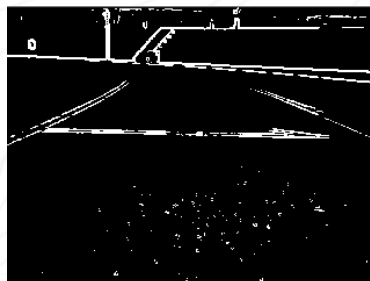
图(a): 原图像



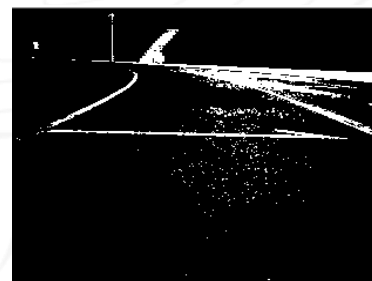
图(b): 全局大津二值化



图(c): Canny边缘检测



图(d): Sobel边缘检测



图(e): Laplacian算子检测



图(f): Dog算子检测



图像处理任务（车道线提取）（重点）

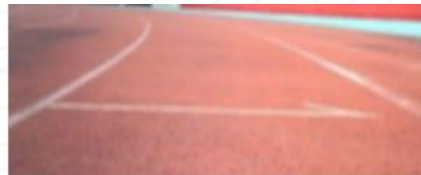
我们提出的车道线提取算法



车道线提取算法演示



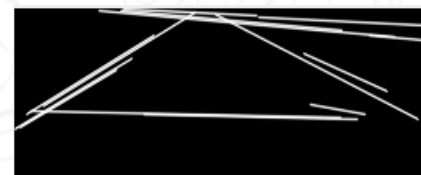
图(a): 截取的ROI区域



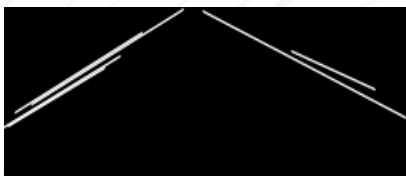
图(b): 高斯模糊后



图(c): Canny边缘检测



图(d): Hough变换检测的直线

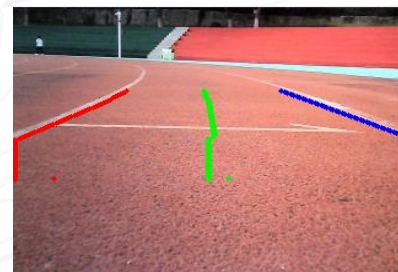


图(e): 特征筛选后的直线

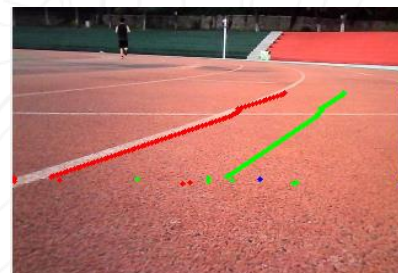


图(f): 形态学闭运算后

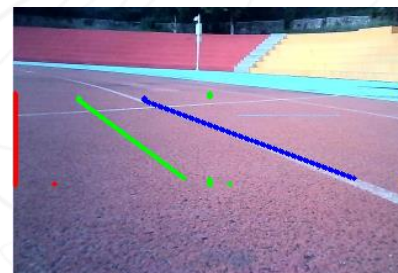
巡线效果展示



图(a): 车身正 (error: -0.2)



图(b): 车身左 (error: -58.0)

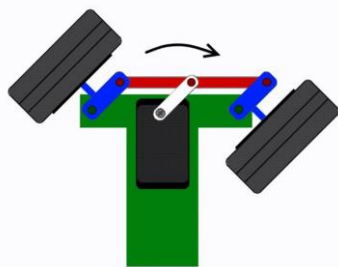


图(c): 车身右 (error: 58.9)



图像处理任务（车道线提取）（重点）

视觉导航的控制方法



图(a): 舵机转向结构

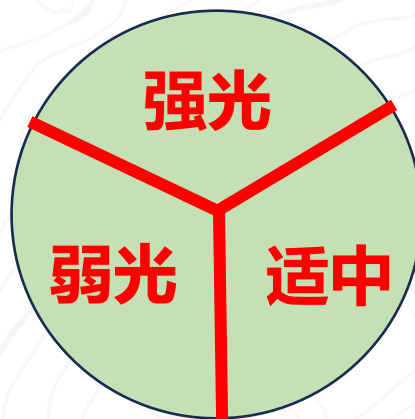
PD闭环即可

参数包

Canny边缘检测的双阈值

高斯滤波的高斯核标准偏差

速度和与之对应的Kp





图像处理任务 (元素识别与处理) (难点)

在HSV颜色空间中完成阈值分割，再图像补线处理完成S弯避障



图(a):截取的锥桶识别的ROI区域



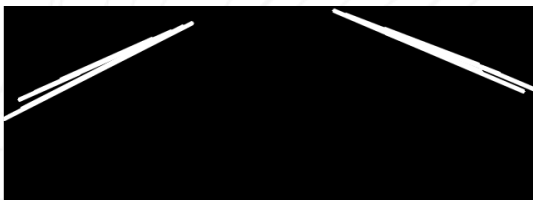
图(b):BGR-HSV变换+阈值分割



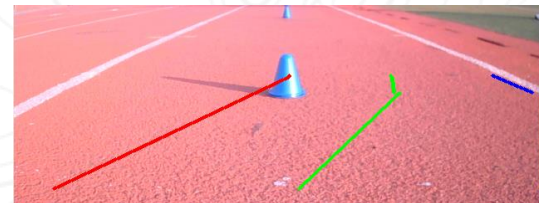
图(c):形态学闭 (先膨胀后腐蚀)



图(d):面积、位置筛选定位后



图(e):锥桶的存在不影响巡线



图(f):图像补线完成避障

利用**跳变点**识别斑马线

图像行数对应实际距离



图(a):识别斑马线而截取的ROI



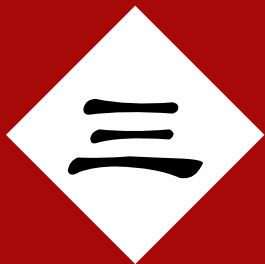
图(b):跳变点数 > 10个

蓝色锥桶S弯避障演示





拓展计划:



无刷驱动设计



负责工作·无刷驱动设计

无刷驱动设计

- **换用无刷电机**，速度提至12m/s+ **创新点**
- 在Simulink中进行建模仿真
- 完成驱动硬件设计
- 完成程序软件设计

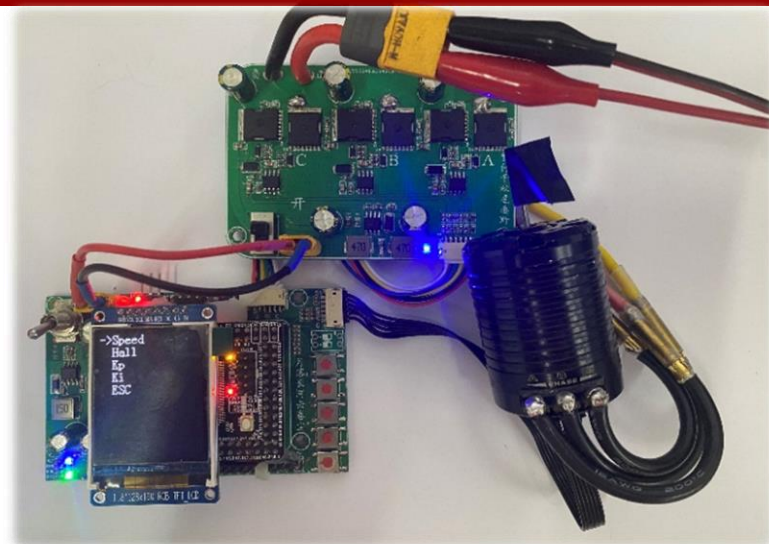


图1 驱动板连接无刷电机



最高转速不足一万转 (rpm)

低效率

寿命短

图2 540有刷电机



最高转速可达三万转以上

高效率、高速度范围

寿命长

图3 3650无刷电机



负责工作·无刷驱动设计

1

模型仿真

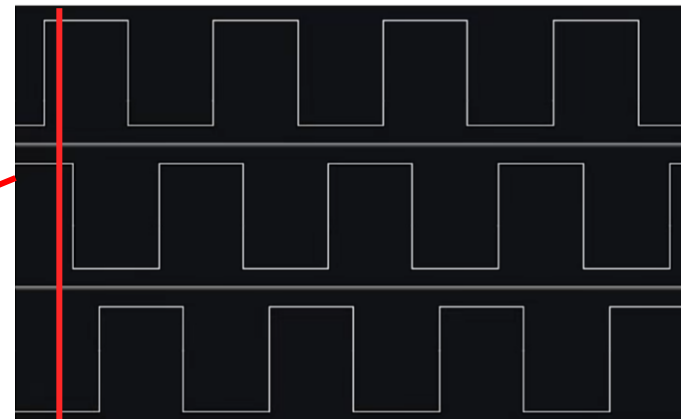
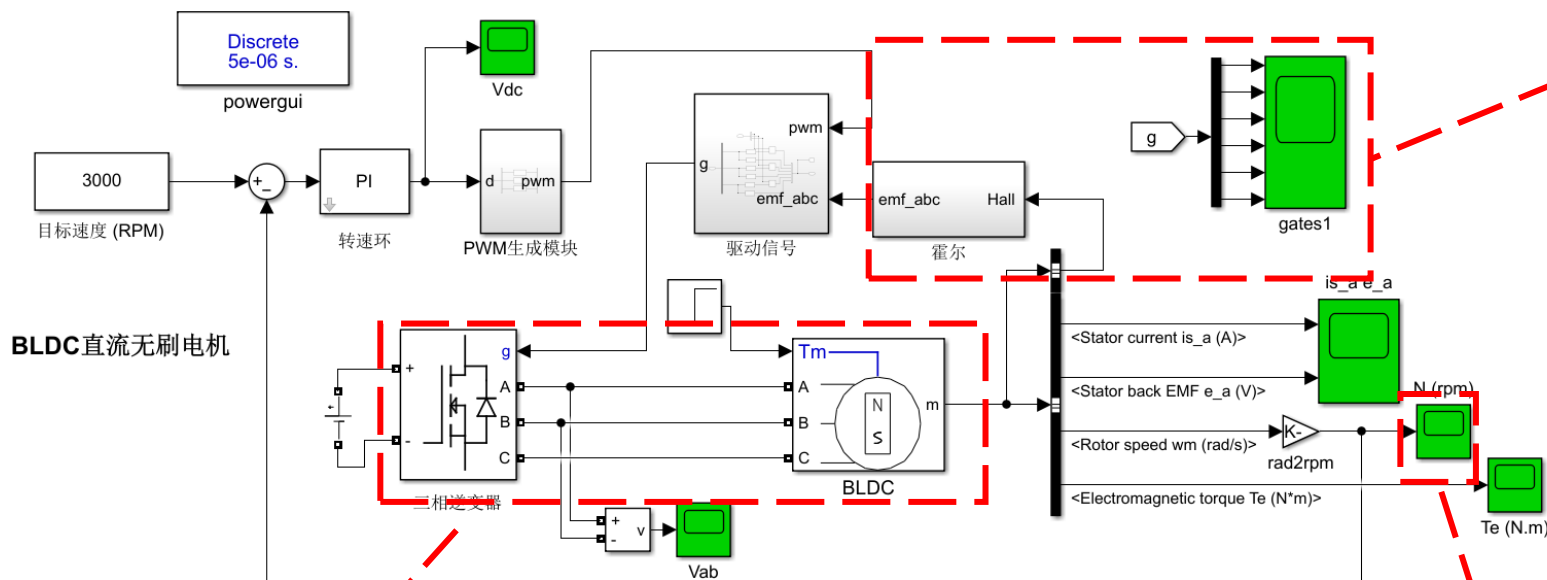


图2 霍尔输出波形

解码后得霍尔硬件编码顺序：
6 2 3 1 5 4

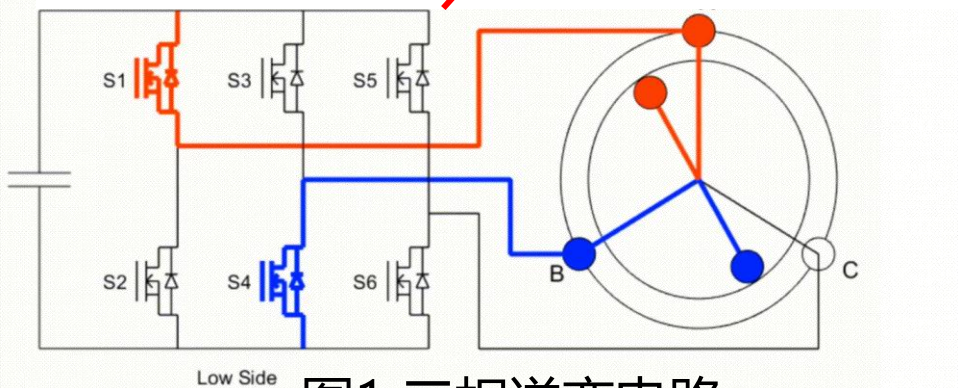


图1 三相逆变电路

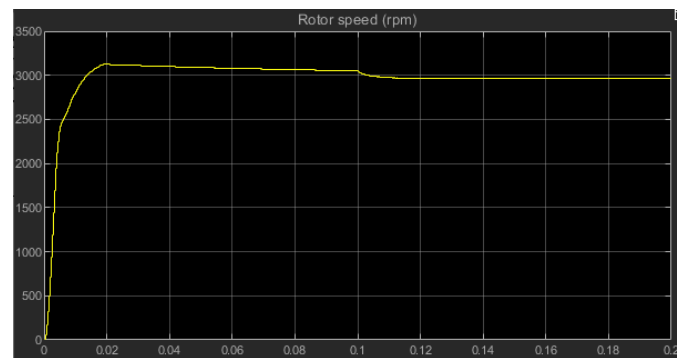


图3 速度输出波形



负责工作·无刷驱动设计

2

驱动硬件设计

- 基于设计3个独立的半桥驱动电路
- 更换大功率MOS管 **创新点**
- 优化布局布线、铜面开窗

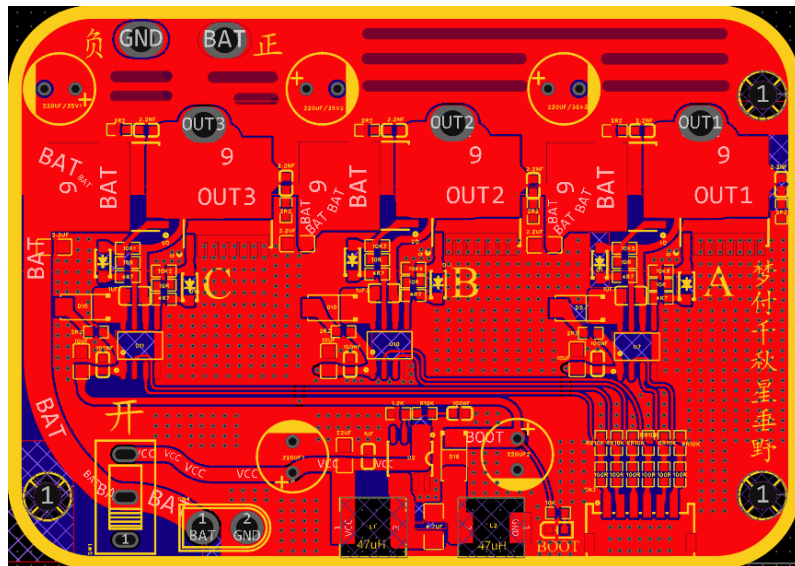


图1 PCB线路设计图

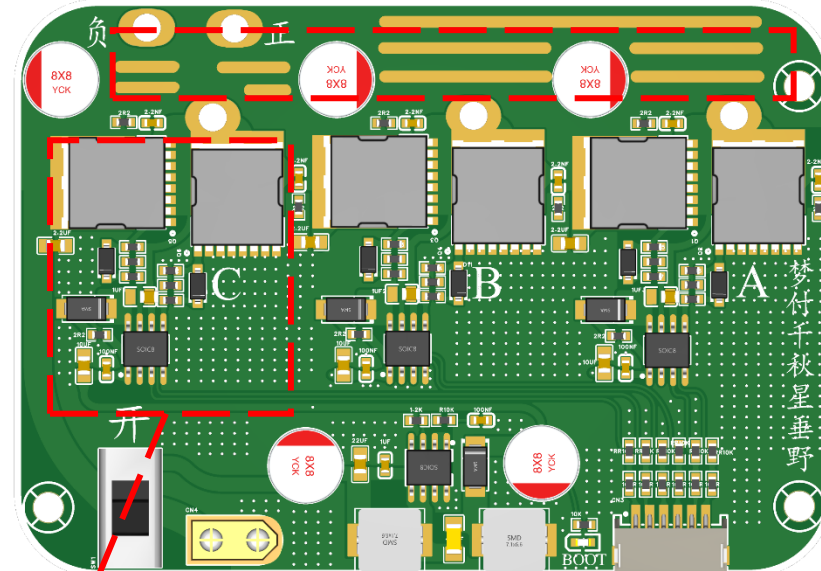


图2 PCB3D渲染图



HYG011N04LS1TA

TOLL封装, **散热快**

参数40V-320A, **承受电流大**

内阻低, 符合驱动设计需求

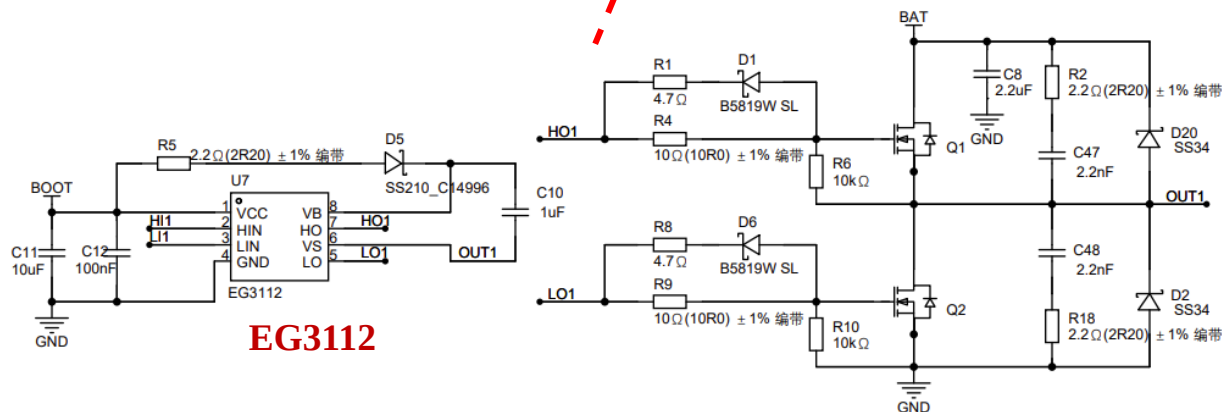
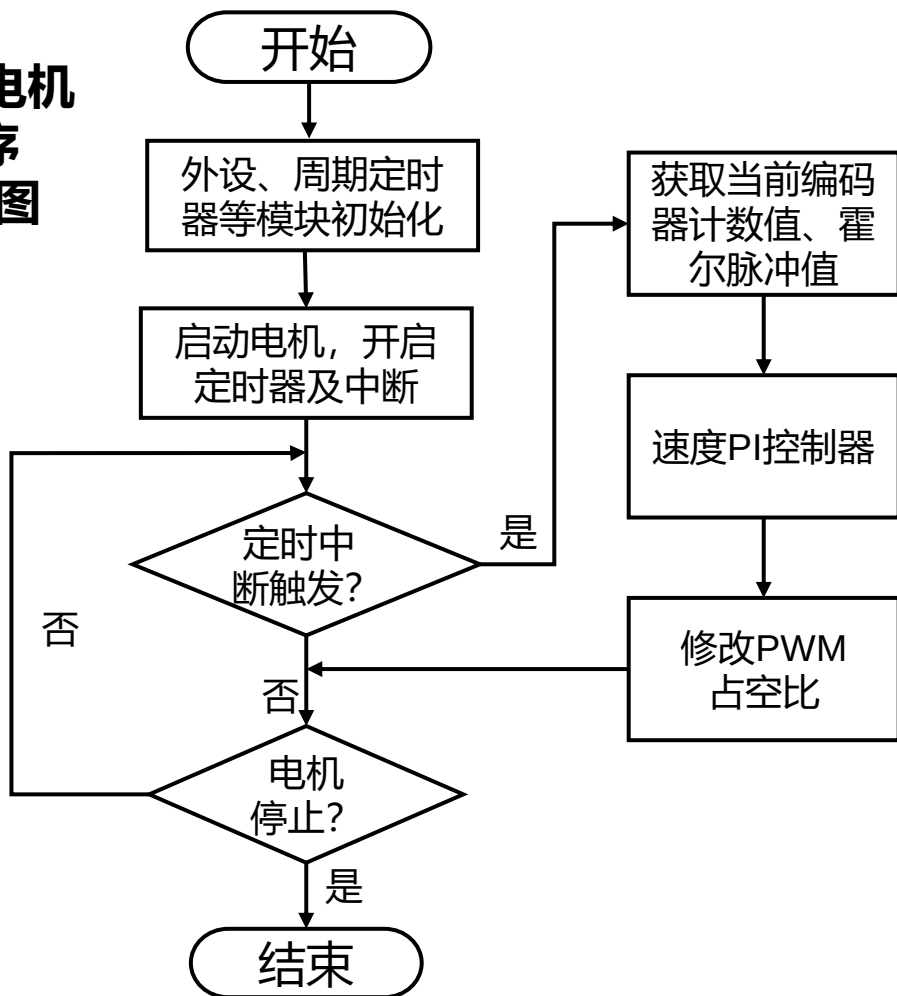


图3 驱动半桥原理图

3

驱动软件设计

无刷电机 程序 流程图



创新点

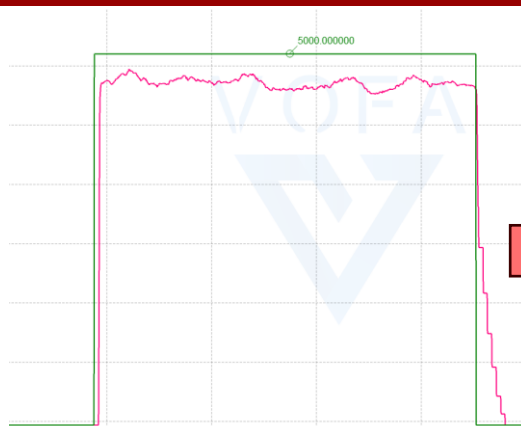


图1 未进行速度闭环

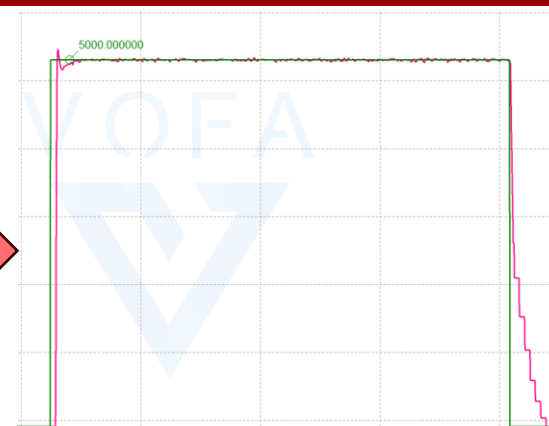


图2 速度闭环效果

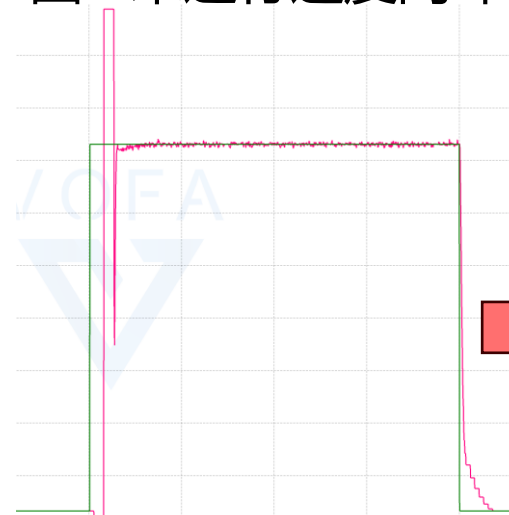


图3 启动速度过高
导致电机抖动

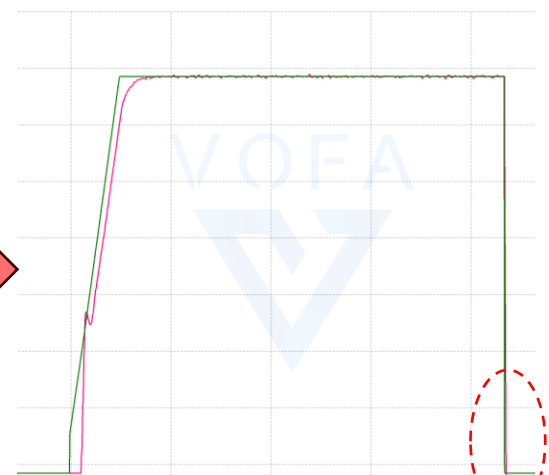


图4 缓慢加速
与刹车处理



拓展计划:

四

GNSS/INS组合导航



GNSS/INS组合导航的尝试

突破性尝试：使用GNSS和INS两大系统，做**数据融合**，借助组合导航方法完成任务

纯视觉感知

出色的完成
赛题要求

定位感知

姿态感知

GNSS定位传感器

GNSS数据包

经度

纬度

海拔

速度

航向

定位精度
1m左右

数据包输出速率
10Hz

IMU姿态传感器

IMU数据包
(六轴)

三轴加速度

三轴角速度

积分误差随
时间而积累

数据包输出速率
200Hz以上

显然，两大传感器各有优缺点，**使用任何一个都不能完成效果好的高速导航**，但是两者**优势互补**，做**数据融合**后，会有比较好的组合导航效果。

本人工作：

组合导航

六轴IMU数据姿态解算

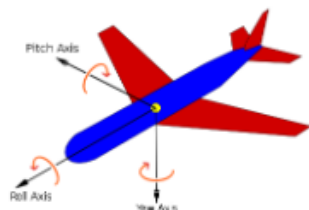
EKF松组合定位估计

Stanley路径跟踪算法



六轴IMU姿态解算

使用**欧拉角**表示物体姿态



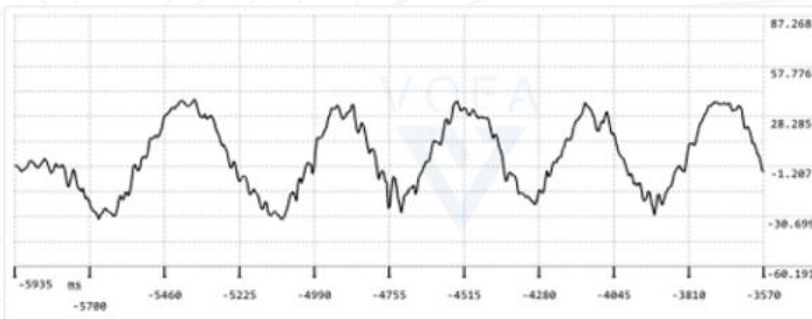
$\begin{bmatrix} pitch(\text{俯仰角}) \\ roll(\text{横滚角}) \\ yaw(\text{航向角}) \end{bmatrix}$

**MEMS惯导
系统级标定即可**

完全使用**加速度计**解算

高频噪声

$$\begin{bmatrix} pitch \\ roll \\ yaw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan\left(\frac{-acc_x}{acc_z}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ \arctan\left(\frac{acc_y}{acc_x^2 + acc_z^2}\right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \\ \text{重力加速度在该平面无分量, 无法解算} \end{bmatrix}$$

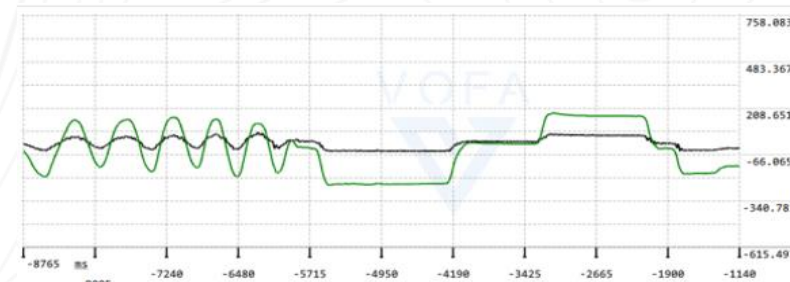


图a:完全由加速度计结算的俯仰角 (黑色)

完全使用**陀螺仪**解算

低频噪声

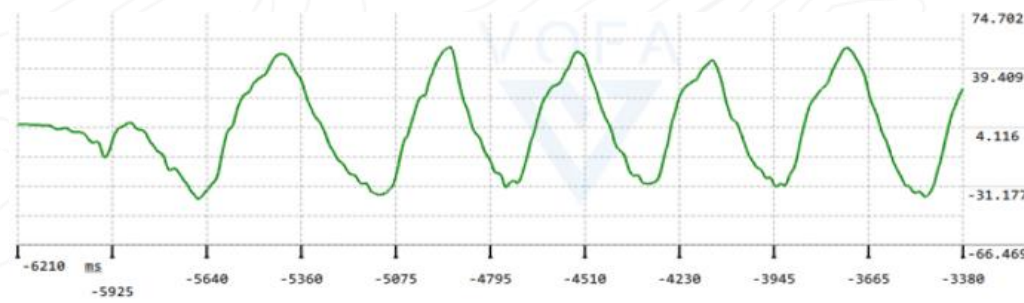
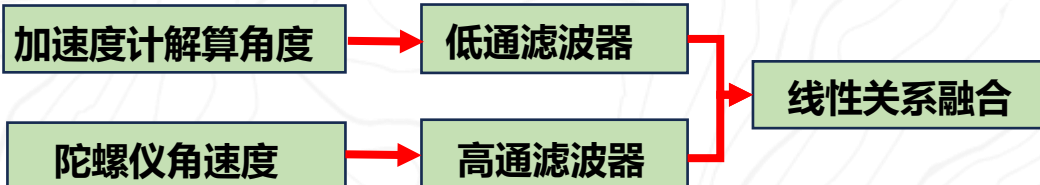
$$\begin{bmatrix} pitch \\ roll \\ yaw \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum gyro_y \times dt \\ \sum gyro_x \times dt \\ \sum gyro_z \times dt \end{bmatrix}$$



图b:完全由陀螺仪结算的俯仰角 (绿色)

互补融合思路:

$$B[n] = \frac{T}{T+TA} A[n] + \frac{TA}{T+TA} (G[n]*T + B[n-1])$$



图c:互补滤波后俯仰角 (绿色)



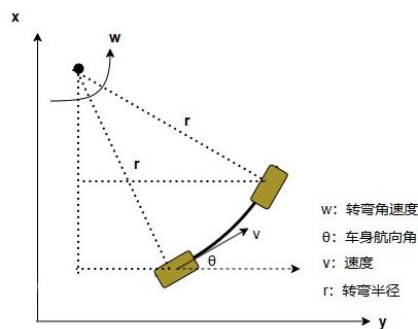
化简版EKF松组合定位估计（创新点）

化简默认的条件

1. 车辆在一个平面（海拔）运动，北东天坐标系化简为北东坐标系
2. 使用墨卡托投影的方法，将经纬度数据转化为单位为米的平面坐标系，忽略地球自转和曲率影响
3. 车辆的运动符合CTRV（恒定转弯率和速率）模型
4. 只使用卫星获取的位置，不使用卫星获取的速度

使用状态向量表示车的状态

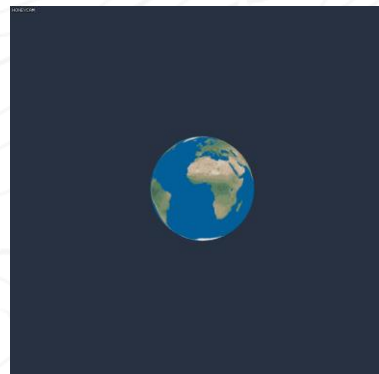
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ heading(yaw) \\ pitch \\ roll \\ speed \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ heading(yaw) \end{bmatrix}$$



w: 转弯角速度
 θ : 车身航向角
v: 速度
r: 转弯半径

$$X(t + \nabla t) = \begin{bmatrix} r \sin(\theta + \omega \nabla t) - r \sin \theta + x \\ -r \cos(\theta + \omega \nabla t) + r \cos \theta + y \\ v \\ \theta + \omega \nabla t \\ \omega \end{bmatrix}, r = \frac{v}{\omega} \text{ 且 } \omega > 0$$
$$X(t + \nabla t) = \begin{bmatrix} v \nabla t \cos \theta + x \\ v \nabla t \sin \theta + y \\ v \\ \theta + \omega \nabla t \\ \omega \end{bmatrix}, \omega = 0$$

图a:CTRV运动学模型及其状态转移公式



$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = f\left(\begin{bmatrix} lon \\ lat \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} \frac{lon \times \pi R}{180} \\ \frac{0.5R \times \log(1.0 + \sin(\frac{lat \times \pi}{180}))}{1.0 - \sin(\frac{lat \times \pi}{180})} \end{bmatrix}, R \text{ 是地球半径}$$

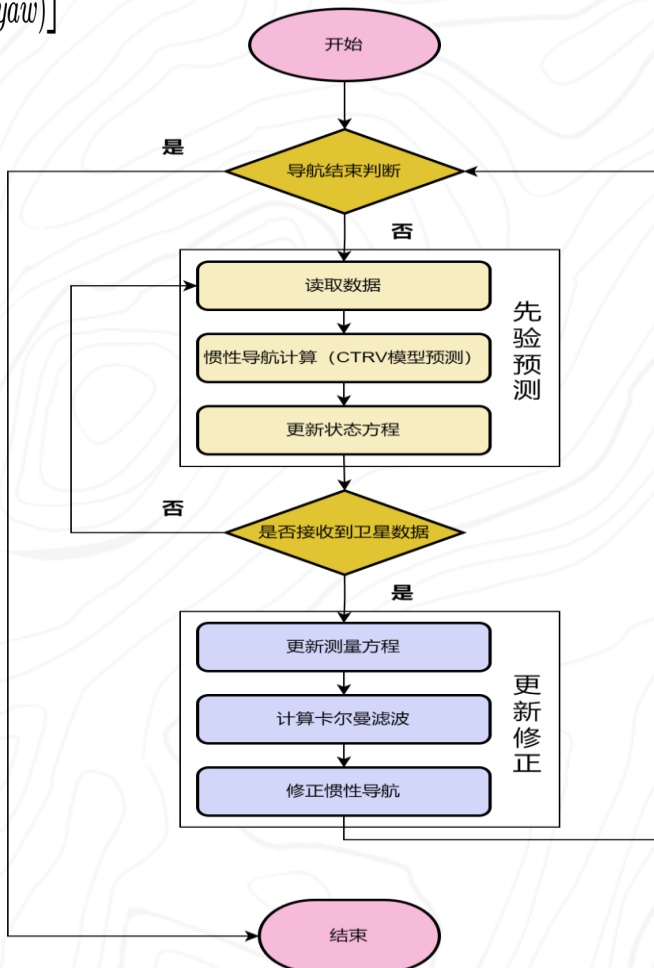
图b:墨卡托投影过程及其公式



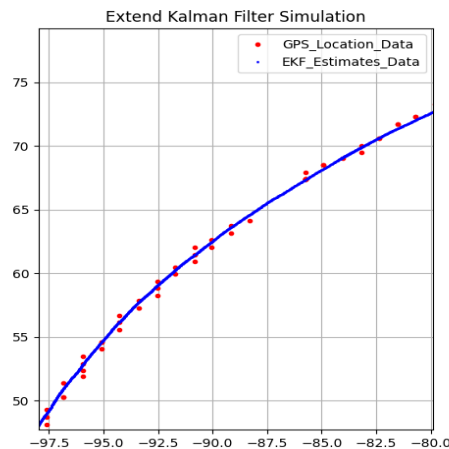
化简版EKF松组合定位估计（创新点）

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \text{heading}(yaw) \end{bmatrix}$$

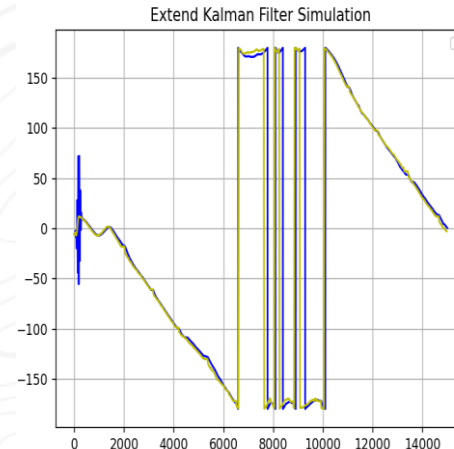
使用三维EKF做数据融合处理



EKF的Python仿真结果



图(a):东向和北向的坐标推算预测
(红色为卫星数据, 蓝色为EKF结果)



图(b):某平面内航向角的预测结果
(红色为卫星数据, 蓝色为EKF结果)

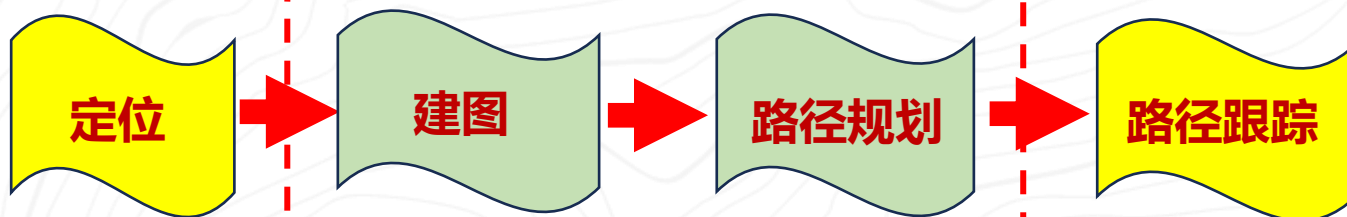
```
ekf_data
├── a_v.csv
├── gps_x.csv
├── gps_y.csv
├── v.csv
└── yaw.csv
```

1. 仿真数据来源于操场运行一圈的实际测量! 并且在车模上得到正确验证。
2. 定位数据的刷新率从10Hz提高到200Hz。
3. 卫星信号较弱时也能有较好的定位效果

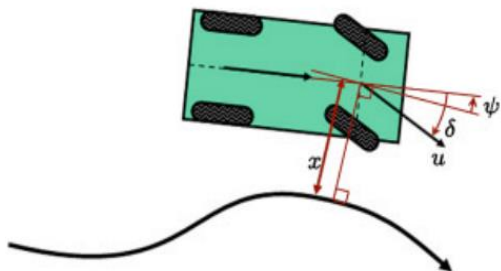


Stanley路径跟踪算法

一般的导航过程:



人为目标路径规划, 算法不处理



图(a):Stanley跟踪方法的示意图

人为设定目标轨迹上的点

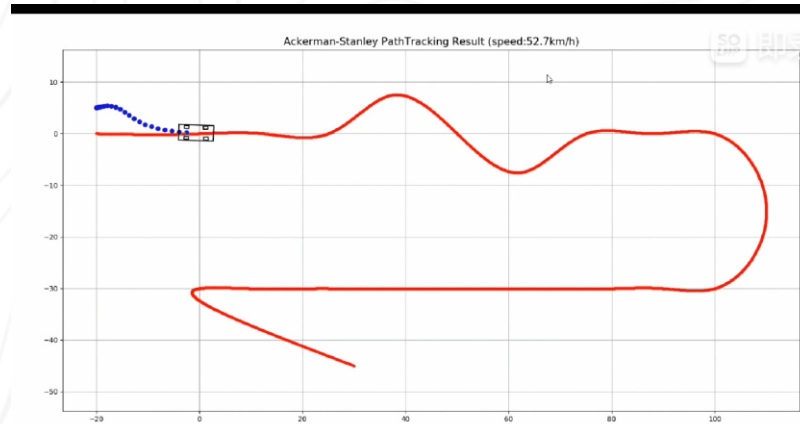
计算目标航向角队列

寻找最近的路径点

计算横向偏差和航向偏差

计算舵机打脚

Reference: Thrun S, et al. Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge [J]. Journal of Field Robotics 23(9), 661–692 (2006)



图(b):Stanley路径跟的python仿真结果



图(c):室外S型避障实测结果 (组合导航)



拓展计划:

五

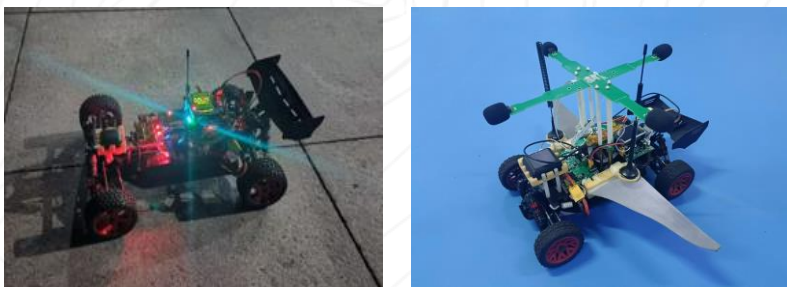
Other Workings



Other Workings

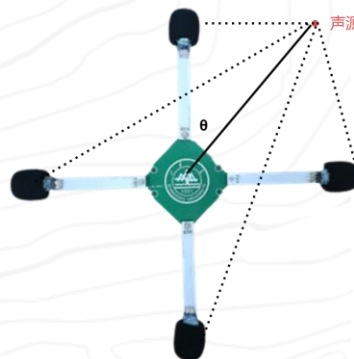


基于图像处理的循迹智能车（摄像头组）



室外高速导航验证车模

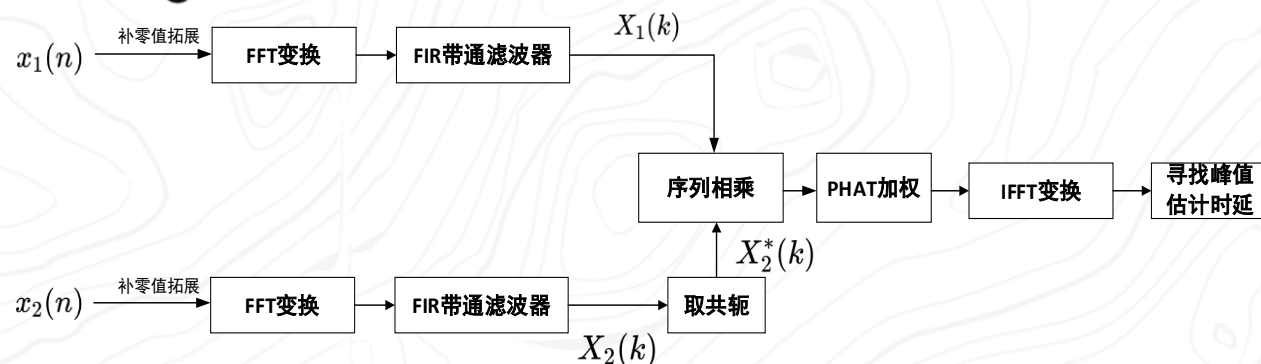
TDOA 声源定位



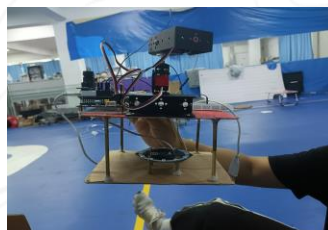
在同一平面（二维）

$$\theta = \arctan\left(\frac{\text{前后时延}}{\text{左右时延}}\right)$$

250MHz主
频下的声音
角度解算时
间: **14ms**



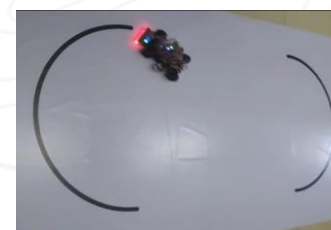
图：利用FFT加速互相关运算的过程



简易声源定位跟踪（2022）



信号调制参数测量（2023）

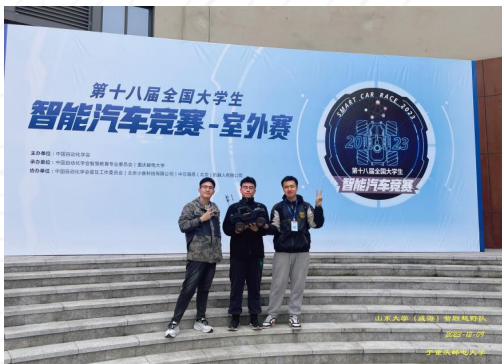


自动行驶小车（2024）



路漫漫其修远兮，吾将上下而求索

室外远程驾驶无人车团队



2023年12月9日，团队获得室外远程驾驶无人车组全国亚军！

项目研究工作

远程驾驶无人车

远程驾驶平台

后端服务处理

内网穿透

前端网页设计

视觉导航算法

倾斜二维码扫描

车道线提取

元素识别与处理

组合导航算法

IMU姿态解算

EKF松组合定位估计

Stanley路径跟踪方案



山东大学
SHANDONG UNIVERSITY

谢谢大家观看！ 欢迎交流！

山东大学（威海）

5G远程驾驶无人车团队



李志坚 张宇 周天宇 何延懋 刘跃升

2024年9月

Email: lizhijian_sdu@163.com