

无人车项目任务详细计划

武汉大学 李明

项目目标

实现适用于城市道路环境的无人驾驶车辆。

系统结构

系统层次

自动驾驶智能车系统架构包括图中所示的六个部分：

传感器层：（姿态传感器、场景传感器）分别感知车辆姿态和外部环境，根据不同传感器的特点，利用激光雷达主要获取 20m 以内的高程信息、视觉传感器获取 50m 以内的环境信息；通过 GPS /INS/车辆内部传感器获取行车的姿态、位置信息。

感知识别层：通过 Unscented Kalman 滤波跟踪车辆姿态、位置；建立自适应网格，通过统计方法分析激光雷达数据；通过特征提取和模式识别分析视觉信息；通过信号处理分析雷达数据发现高速运动物体；综合以上结果识别障碍物（正障碍物（石块、路障等），负障碍物（沟壑、水坑等））、跟踪移动运动目标（车辆、行人）。

局部地图层：根据感知结果分别建立以行驶车辆为中心的激光雷达局部地图、视觉光学局部地图、雷达感知局部地图。并实现 GPS 信息、GIS 已知道路信息、航拍信息、车辆位置和姿态信息的叠加。提供一种直观了解行车环境各种信息处理结果的实时二维，离线三维的综合地图。

路径规划层：根据地图、感知信息分析可供行驶的道路范围；根据车速、道路复杂度生成平滑的可能行驶路线；分析静态、动态障碍物和交通规程形成局部路径规划。

行驶控制层：根据路径规划结果和车辆内部的各种传感器信息，生成对车辆档位、油门、方向的控制命令，保持车辆平稳高速行驶，实现自动驾驶。实现内部成员和远程驾驶控制系统，可以在任何时候接管自动驾驶的车辆，保证车辆人员安全。

辅助服务层：实现各个子系统间的实时高速通信（Inter-Process Communication (IPC)）、数据和命令实时记录（log）、离线仿真调试环境（offline replay and debug）、系统状态监测系统等各种辅助功能。

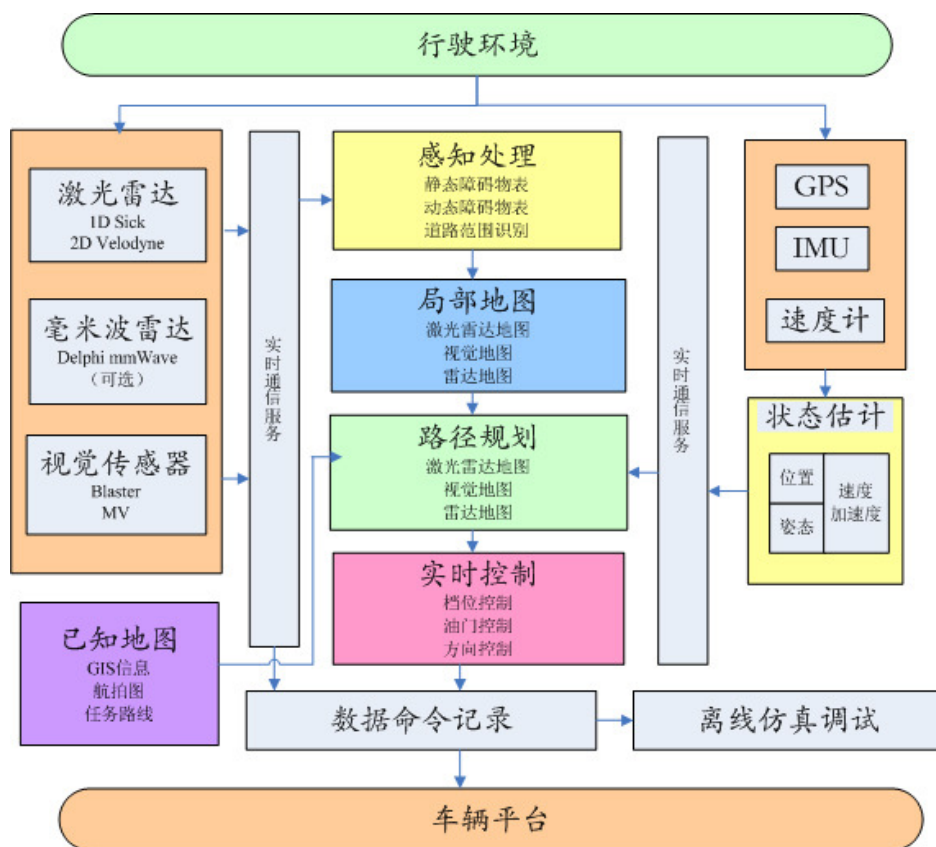


图 1、智能车层次结构

系统硬件结构

为了简化系统结构，保证各系统单独可测试

1. 考虑到多机器，异步处理，可以考虑将时间进行同步，位置姿态信息进行广播，这样每台机器都可以独立处理。每台机器录像都可以事后分析处理。
2. 上下位机形式的分布式结构图像采集、3D 雷达占用带宽太多，可以采用第二个网卡进行流量分离

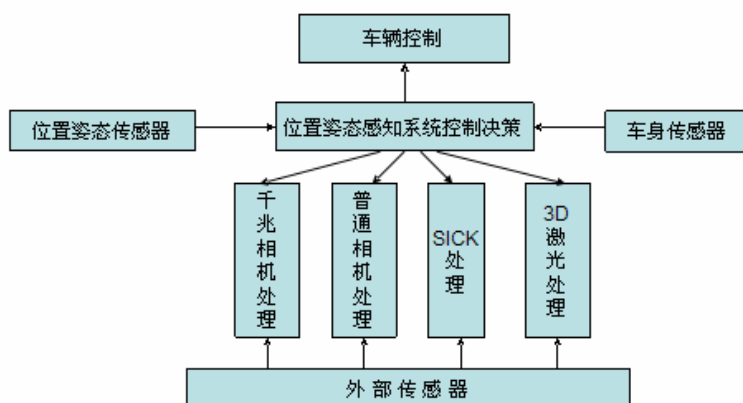


图 1，系统计算机结构

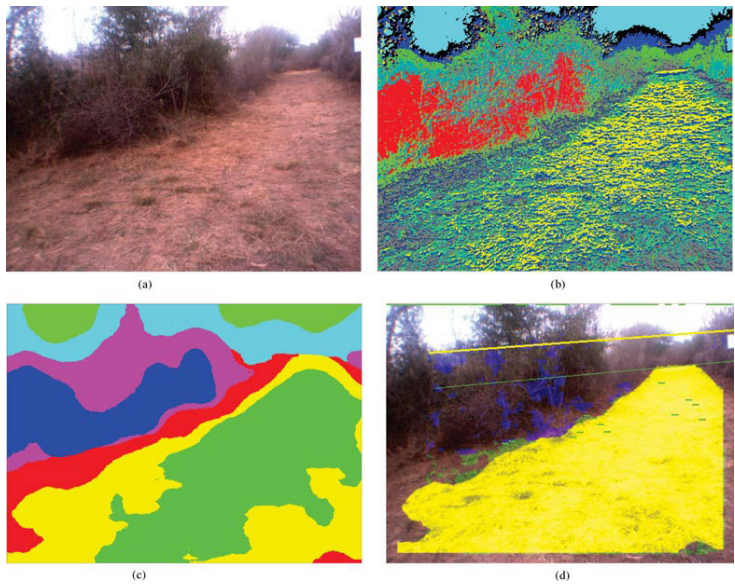
主要研究开发工作

道路范围检测

- 1. 首先考虑在没有任何障碍物和阴影的情况下的道路范围识别，采用颜色、纹理等特征进行分类得到道路范围。
- 2. 加上阴影、不同光照的干扰情况下的道路范围识别。
- 3. 添加静态障碍物和不规则区域的道路范围识别。



(a) 利用颜色进行道路分割



(b) 利用纹理进行道路分割



(c) FC 比赛的各种场景

图二、道路范围检测图

道路标线的识别

1. 采用道路水平假设，高速公路车道中心线的曲率 C 随车道弧长呈线性变化，建立简化道路模型。
2. 提取相应的特征，(Gabor、Haar、纹理特征、颜色特征)，并进行特征融合、特征选择。
3. 利用最大后验概率估计转化为道路模型参数的最优估计问题。



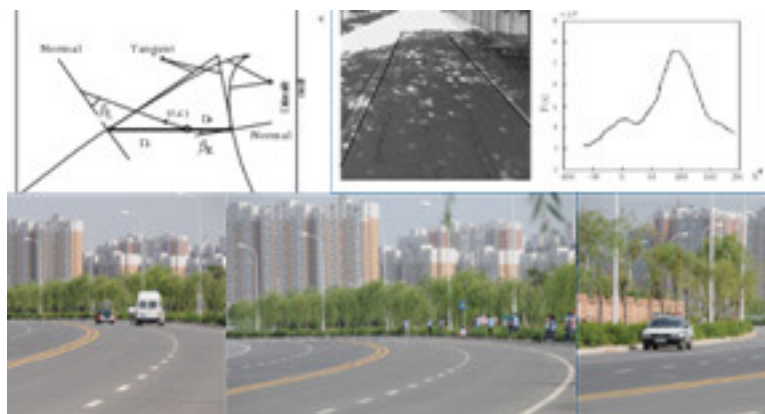
Fig. 8. Lane departure and front collision detection and warning development



(a)



(b)



图三、车道线提取

交通标志识别

1. 利用 Haar 特征和 Adaboost 进行交通标志检测。

2. 增加梯度直方图（HOG）特征，提高检测的鲁棒性
3. 利用更多的细节特征进行交通标志识别。



(a) 用 Adaboost 进行交通标志检测



(b) 交通标志识别结果



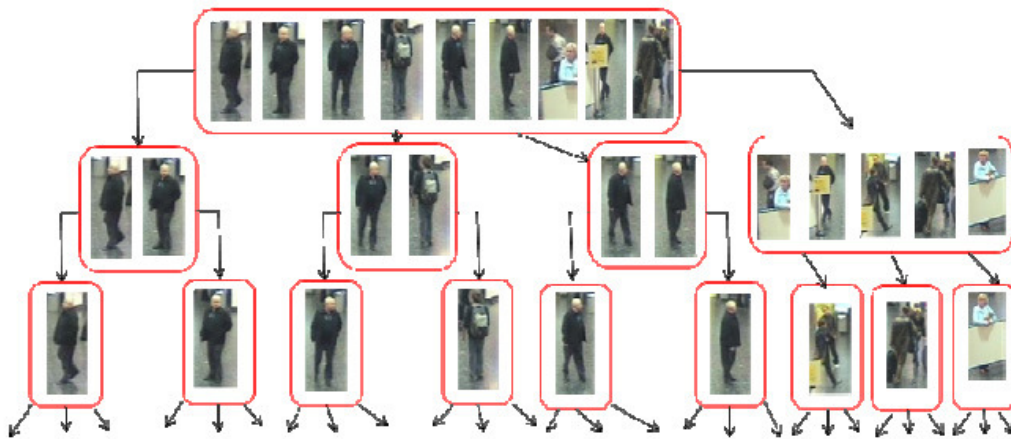
(c) FC 比赛的要求

图四、交通标志识别

车辆行人检测

利用 Haar 特征和 Adaboost 进行行人车辆目标检测。

利用 Karman 进行滤波跟踪。



a 行人检测决策过程

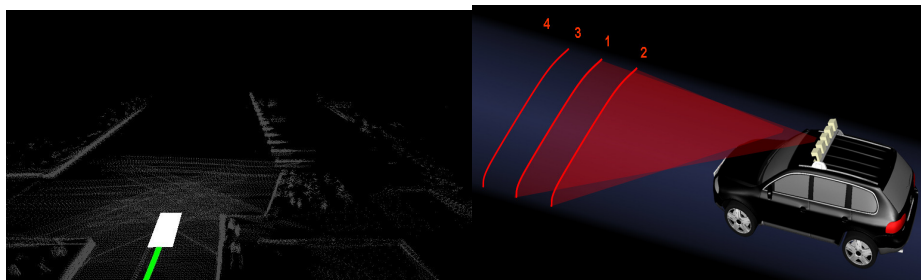


激光雷达数据处理

累计激光雷达数据处理

首先建立自适应网格网格大小为 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ ，将多个激光雷达获得的环境数据进行处理，形成 20m 内的高程数据。

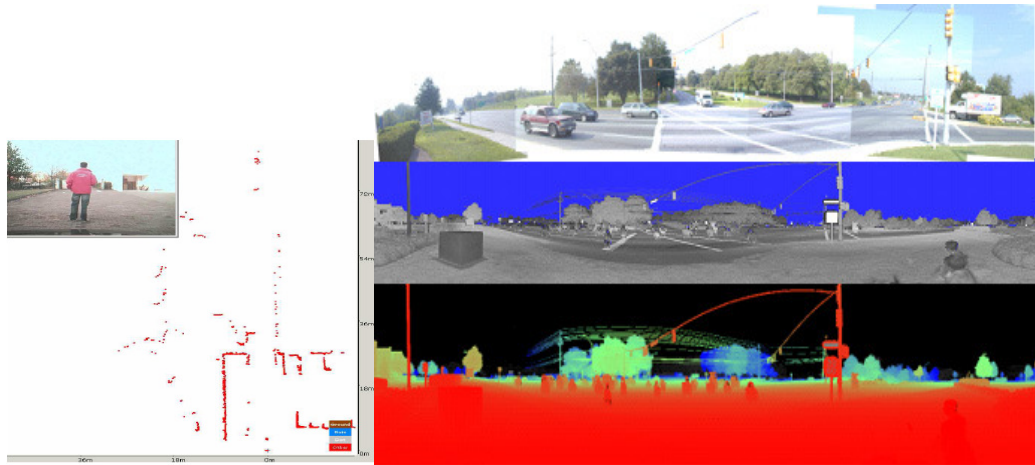
利用多次观测，提高数据的有效性，同时避免车辆姿态、地形变化造成的误差。



投影图

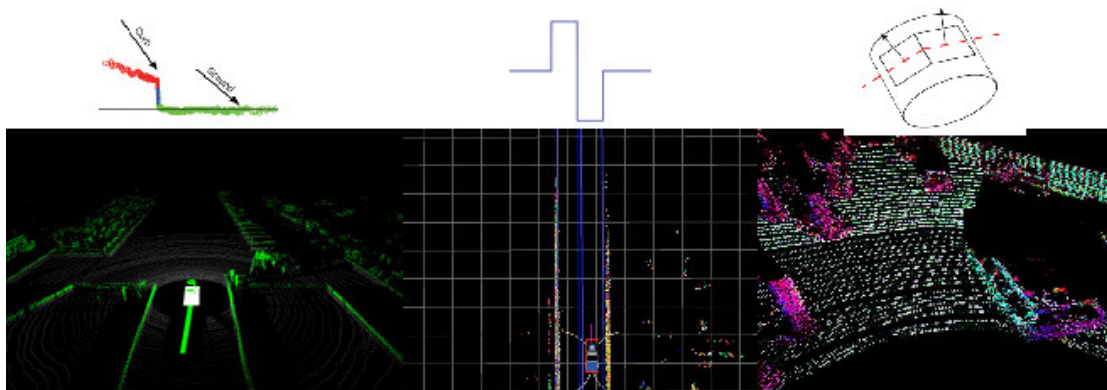
线特征

深度图



道路范围检测

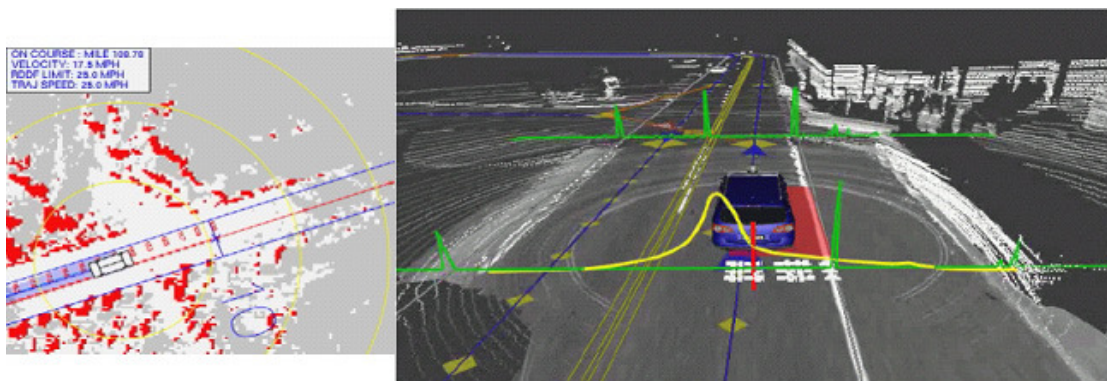
1. 对于水平道路利用几何特征进行简单分类。
2. 对于形状复杂路段利用 Haar 特征在不同尺度上进行分类
3. 对于起伏路段利用不同尺度的局部特征进行分类



可行驶区域分类

通过统计分析、模式识别进行地形分类，生成可行驶区域、障碍物、未知区域。

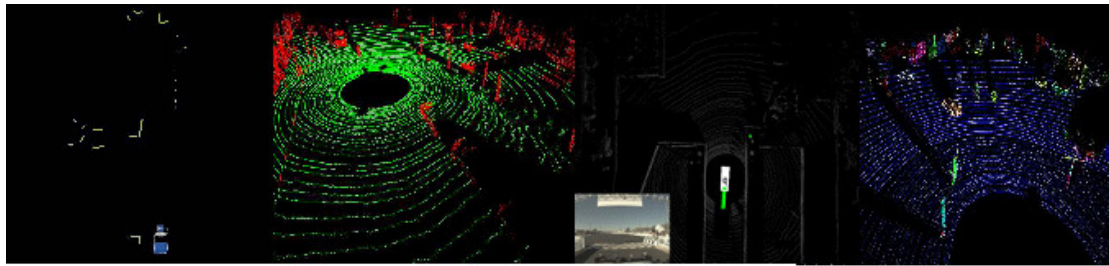
通过多帧数据分析分类结果，产生道路区域。并找出运动障碍物。为运动目标跟踪做准备。



动态目标识别跟踪

利用点模型和 Box 模型对车辆等目标进行跟踪

利用复杂形状特征对行人进行跟踪

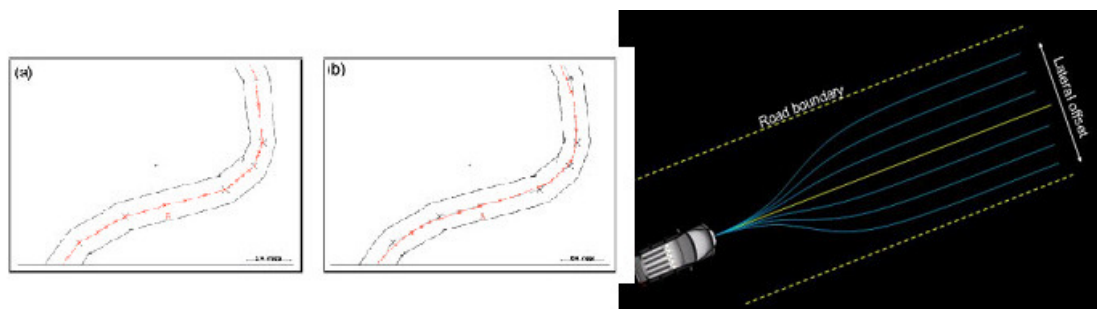


路点内插平滑

根据 RNDF 和任务文件产生更多的路点，并进行平滑。

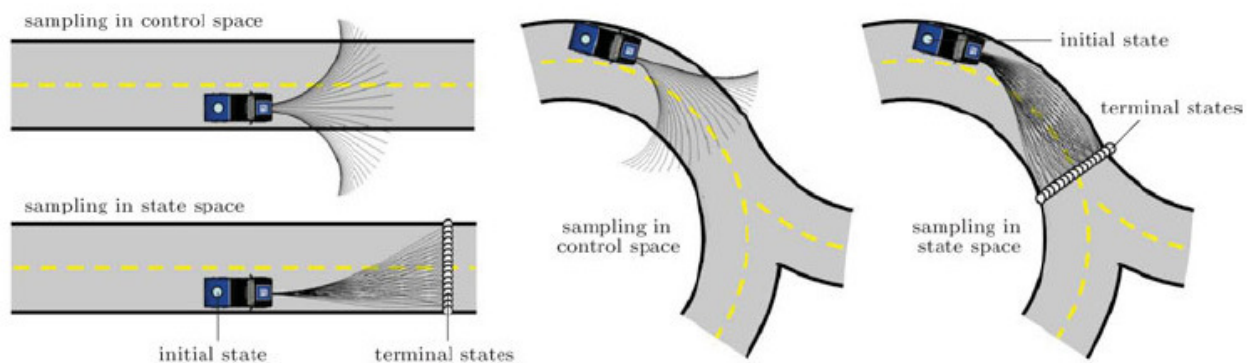
正常路线规划

首先考虑直线道路且不考虑障碍物。车辆能够沿着道路中心线行驶，能根据车辆模型和坡度的高低调整控制系统。主要完成最基本的路径生成方法和路径规划与车辆控制之间的交互。

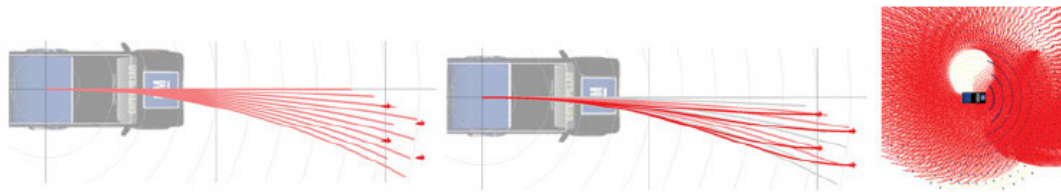


生成可行驶轨迹表

1. 根据车辆起始点和目标点的位置，在状态空间生成多条可行驶的路线。
2. 根据生成路线，产生在不同路线上等间隔不同位置的控制参数。



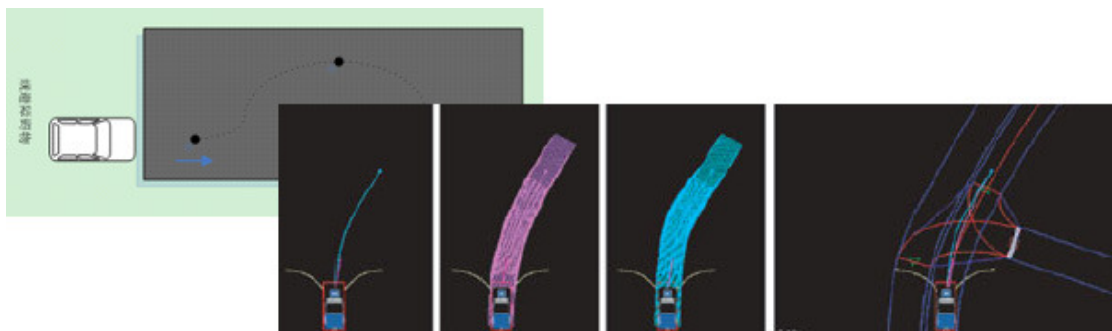
(a) 通过控制空间和参数空间产生可行驶轨迹



(b) 显示可行驶轨迹表

有障碍物情况下的规划

根据地图、感知信息分析可供行驶的道路范围；根据车速、道路复杂度生成平滑的可能行驶路线，分析静态形成局部路径规划，生成平滑和复杂路线，供避开突然障碍物，做应急反应。

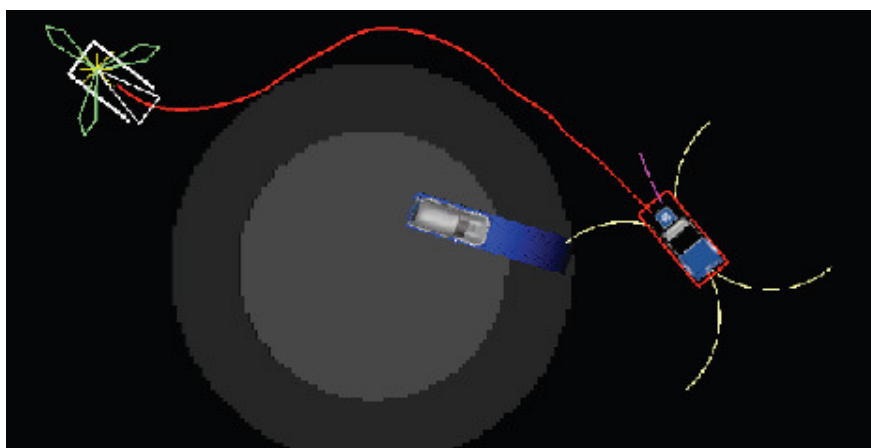


处理复杂静态场景

交通场景复杂（转弯，十字路口）。主要研究复杂道路环境下车辆如何根据自身状态生成平滑路径。解决转弯时没有车道线情况下车辆的局部路径规划。

考虑动态障碍物影响

对可通行区域进行安全性评估。设计可通行区通过代价函数。分析静态、动态障碍物，可以设置硬约束和软约束来形成局部路径规划。

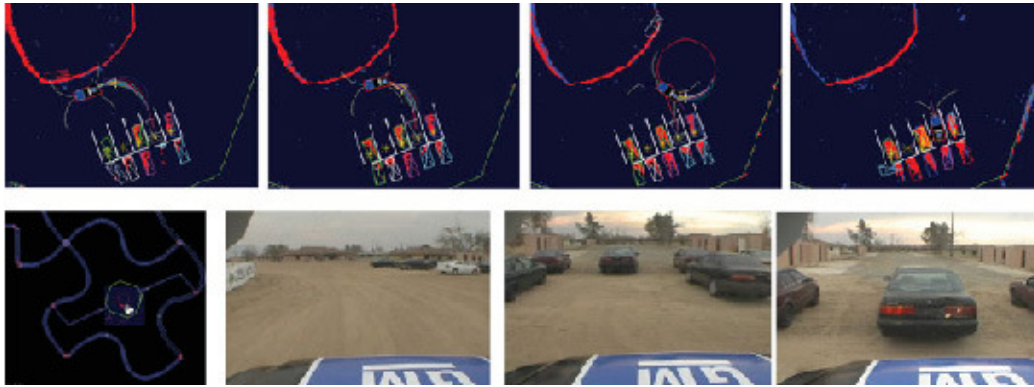


结构化道路

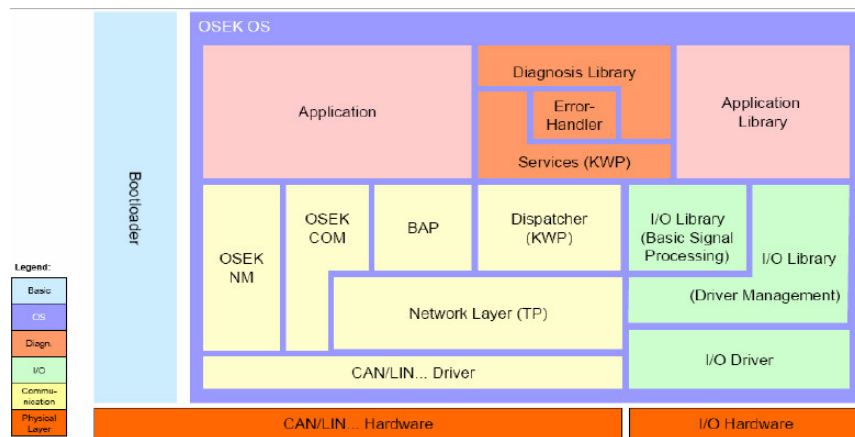
难点在于 U-turn 中对拐弯半径的控制，可以采用三点调头。

非结构化道路

需要用到 D*算法，将生成的栅格路线根据车辆的运动参数进行平滑。



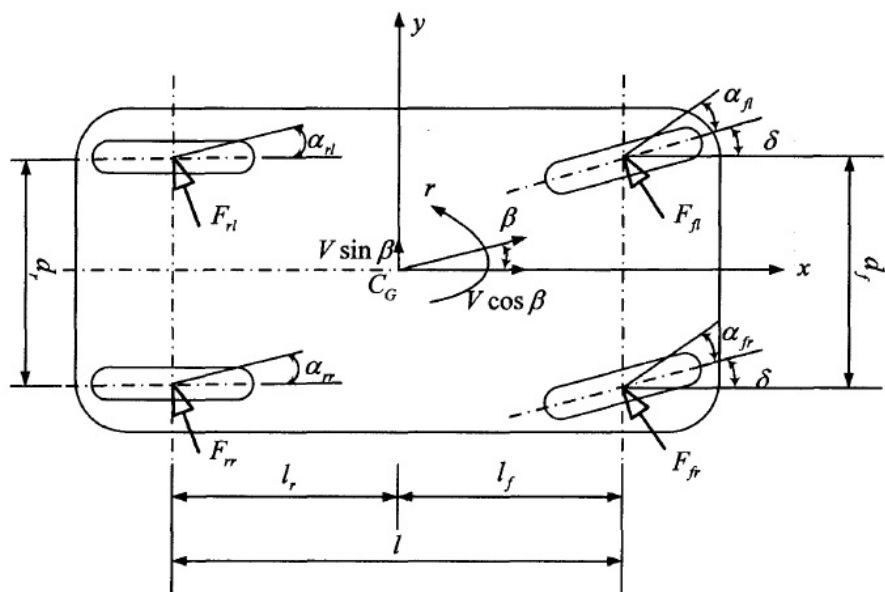
车身 CAN'总线信息读取



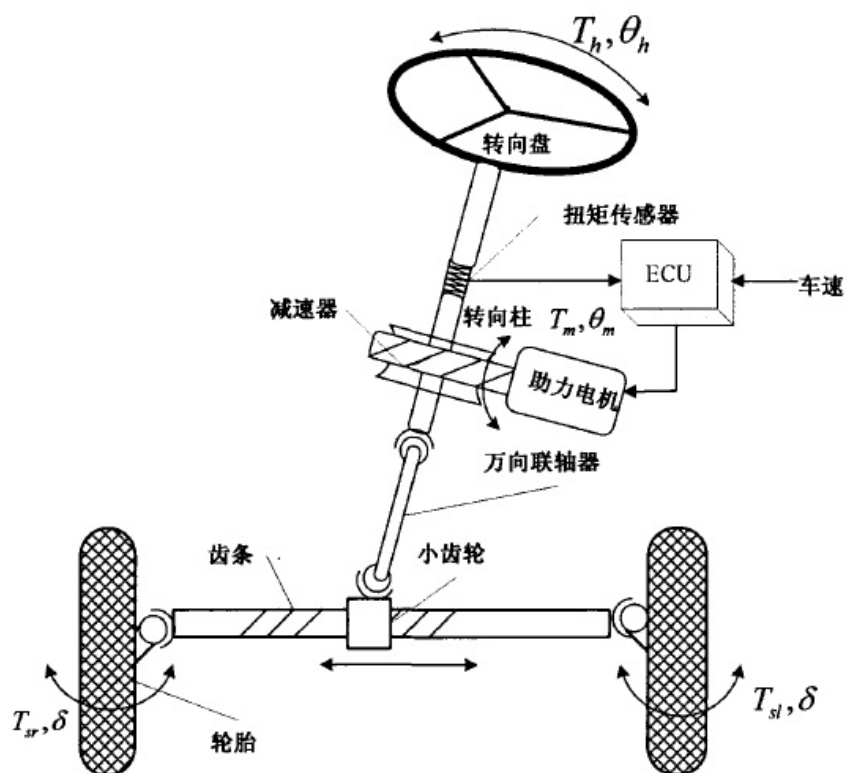
ECU 结构

车辆横向控制

在车辆运动的研究中有三个自由度，即车辆的侧向、横摆和侧倾是经常要考虑的。研究转向，也就是研究操纵稳定性，只要考虑车辆的侧向(lateral motion)平移、绕过质心的铅直轴的运动，即横摆运动(yawing motion)即可。因而，可将车辆看成是投影在地面的不计高度的刚体。本研究从四轮前轮转向车分析入手建立四轮车辆模型。

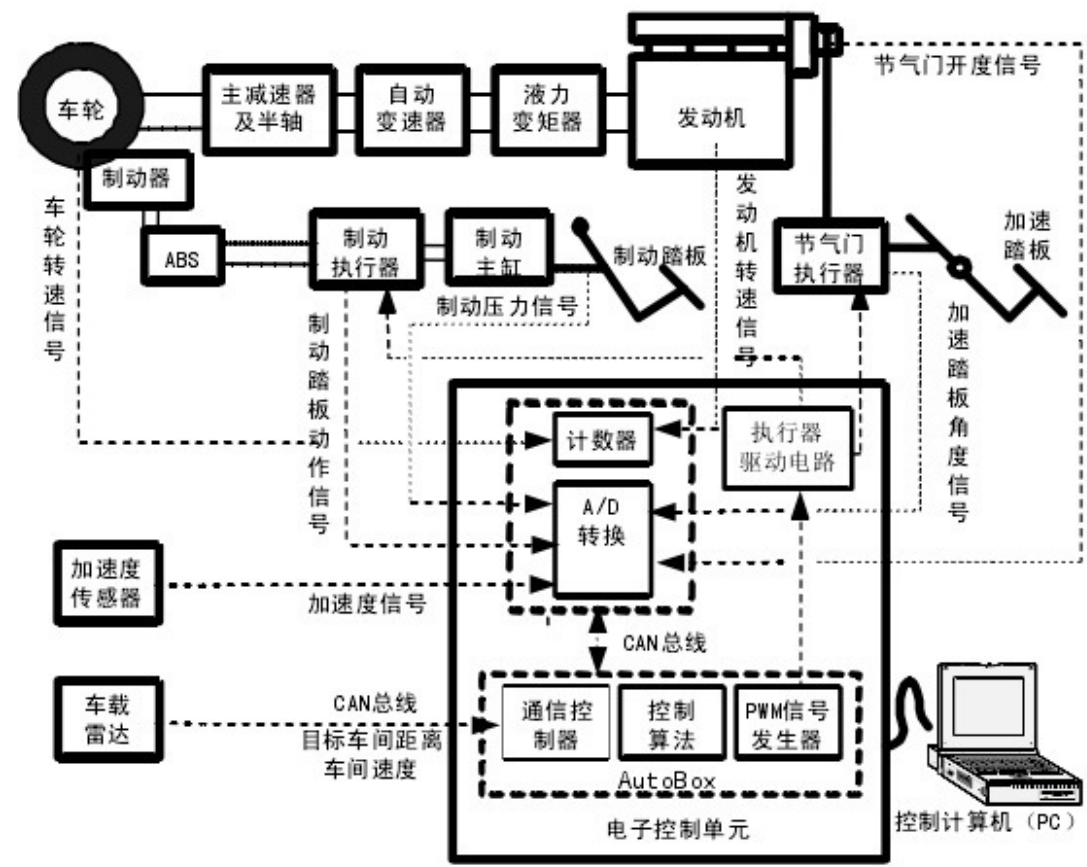
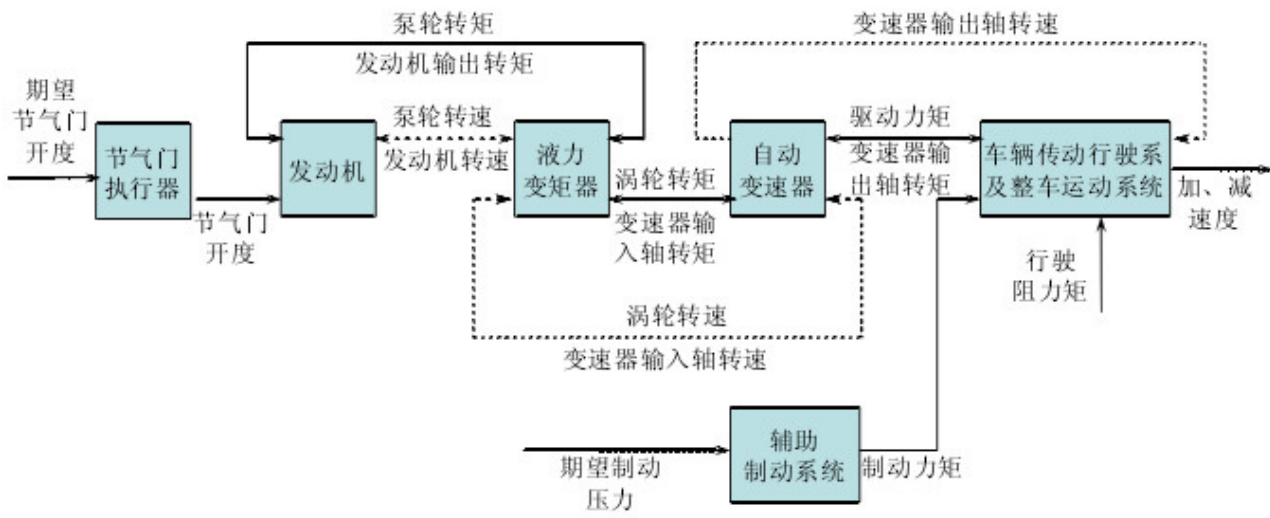


电动助力转向系统主要含有信号传感装置(包括扭矩传感器和车速传感器), 转向助力机构(电机、离合器、减速传动机构)及电子控制装置。它主要利用电动机产生的动力来帮助驾驶员进行转向的, 可将系统划分为三大主要部分。机械系统主要由方向盘、转向轴、小齿轮、齿条、横拉杆和转向节等组成;助力系统主要由助力电机、电磁离合器、减速传动机构构成;电控单元 ECU(Electric Control Unit)含有电机驱动控制电路、传感器检测电路、控制电路等。



车辆纵向控制

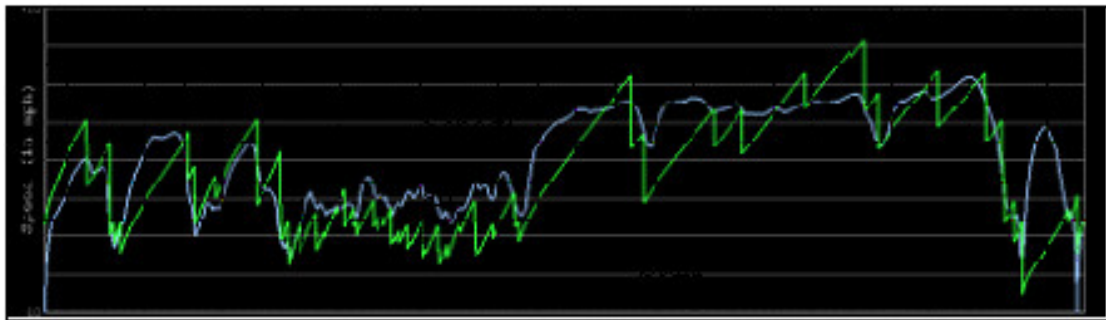
纵向动力学系统总成包括：发动机、节气门执行器、液力变矩器、自动变速器、辅助制动系统、车辆传动、行驶系及整车运动系统。各总成相互间的转矩及转速传递关系如图所示。



实现车辆遥控
通过无线完成车辆的遥控工作。



建立车辆控制模型



时间安排

整个五个阶段，考虑到前期的任务多为开发，相应的目标可控，中期主要是算法研究发表论文，后期为参赛准备阶段。因此时间安排应当前期更紧一些，尽量提前完成相关的开发和算法工作，因此各期的时间安排如下，（具体还需要大家讨论一下）

第一阶段目标（智能车基础软件开发阶段）

一个月时间

第二阶段目标（道路识别和路线规划阶段）

两个月时间

第三阶段目标（静态障碍物识别和路线选择阶段）

两个月时间

第四阶段目标（动态障碍物跟踪和复杂行驶行为阶段）

两个月时间

第五阶段目标（针对智能车挑战赛，仿真测试阶段）

三个月时间

人员安排

（具体分工需要大家讨论）

申请专利。

阶段目标

1. 系统研究开发分为 5 个阶段。分别完成无人驾驶智能车的开发、算法研究、论文发表、和比赛准备等四项任务。
2. 各阶段的时间安排中,开发时间约占 30%,算法研究发表论文 50%,系统调试测试占 20%。
3. 测试安排,先期测试时间可以安排少一些,主要是单元测试,可以每个月将各部分集成测试一下。后期测试逐步加强,可以没半个月或两周集成测试一下。以提高系统稳定性。
4. 发表文章方面,将每个阶段开始前确定发表的文章题目,提纲和实验方案,并每两周组织文章进展交流,提高文章发表质量。

第一阶段目标（智能车基础软件开发阶段）

本阶段目标是将智能车实现各种传感器的动态采集、信息融合显示。

各部分开发工作如下：

感知识别部分

1. 开发完成各种传感器驱动,实现各种传感器数据的采集、动态显示。
2. 对普通相机、千兆网相机标定, Sick 雷达、3D 雷达进行标定(统一坐标为 3D 雷达中心)
3. 通过 NTP 服务实现各个工控机时间同步,对传感器数据加上时间戳。

路径规划部分

4. 导入路网定义文件(RNDF),和各种传感器信息融合显示。
5. 根据已知的道路数据,将道路控制点内插,达到可供车辆行驶控制的程度。
6. 采集车辆 GPS 定位信息,动态显示车辆的运行轨迹。

车辆控制部分

7. 熟悉车辆纵向、横向控制机理。
8. 设计车辆行驶控制方案
9. 通过 CAN 总线,采集车辆的参数

文章发表计划

3D 激光雷达和视频数据的标定

本阶段的测试目标是

1. 各种传感器信息采集是否正确、实时。
2. 能否统一到统一坐标系,同步是否正确。
3. GPS 位置信息和路网文件是否显示正确,车辆动态轨迹是否连续。
4. 通过 CAN 总线采集车辆运行参数是否正确。

第二阶段目标（道路识别和路线规划阶段）

本阶段目标是通过实现简单道路识别和结构化路线规划，实现车辆在低速行驶。

（基本平直、车道线明显、道路特征和非道路区别明显，颜色、纹理区别明显、道路与周围高度不同）

感知识别部分

1. 基于色彩和灰度特征检测车道线
2. 通过车道模型，进行车道线跟踪
3. 通过局部高度、平整度、法向量等特征识别道路范围。
4. 通过几何特征特征识别道路边沟。

路径规划部分

5. 根据车辆起始点和目标点的位置，在状态空间生成多条可行驶的路线。
6. 根据生成路线，产生在不同路线上等间隔不同位置的控制参数。

车辆控制部分

8. 设计步进电机控制器。
9. 购买液压控制器。
10. 设计车辆方向控制机构，实现车辆横向控制。

文章发表计划

多特征融合的车道线检测。

基于局部特征的 3D-Lidar 道路检测

本阶段的测试目标是

1. 车道检测跟踪是否正确，跟踪是否准确。
2. 道路范围是否识别正确，识别准确度。
3. 可行驶路线产生是否可有行驶控制机构达到。
4. 车辆横向控制的时延、精准度、稳定性。

第三阶段目标（静态障碍物识别和路线选择阶段）

本阶段目标是通过识别静态障碍物和交通标志，实现车辆在可控的低速行驶。

（在车辆必经的路线上随机设置固定障碍物和明显的交通标志，检测系统的感知能力和车辆横向控制能力）

感知识别部分

1. 通过识别明显的静态障碍物
2. 在自然场景中检测交通标志
3. 识别交通标志的内容

路径规划部分

1. 对产生行驶路线通过感知生成的局部障碍物地图进行评价选择。
2. 对行驶过程中行驶控制与规划路线产生的偏差进行控制处理。
3. 可以产生变道规划路线。

车辆控制部分

1. 提高横向控制的准确度
2. 实现油门、刹车控制。
3. 实现车辆低速行驶的纵向控制。

文章发表计划

1. 车辆行驶中静态障碍物检测。
2. 城市环境中交通标志识别
3. 鲁棒性可控的局部路线规划
4. 城市道路车辆走停控制

第四阶段目标（动态障碍物跟踪和复杂行驶行为阶段）

本阶段目标是通过识别跟踪动态障碍物，决策产生变道、超车动作，实现车辆在可控的低速行驶。（跟踪行驶环境中的其它车辆，决策产生驾驶行为，检测系统的动目标感知能力和车辆横纵向控制能力）

感知识别部分

1. 识别车辆动态障碍物。
2. 跟踪动态障碍物运动轨迹。

路径规划部分

1. 分析动态障碍物对本车行驶的影响。
2. 产生跟车、超车等车辆行驶轨迹。

车辆控制部分

3. 控制车辆的档位、油门、刹车的速度、准确度。
4. 针对有起伏的路面，提高车辆控制的鲁棒性。

文章发表计划

5. 多传感器车辆目标跟踪。
6. 基于高级驾驶行为的路线规划
7. 城市道路车辆复杂行为控制算法。

第五阶段目标（针对智能车挑战赛，仿真测试阶段）

本阶段目标是根据挑战赛的比賽要求和特点，设计相应的行驶环境，测试无人驾驶系统的各项性能，并优化算法，提高行驶速度。

感知识别部分

1. 根据比賽的行驶环境，有选择的组合传感器、处理算法，形成系统。
2. 调试各种识别算法性能，提高稳定性。

路径规划部分

3. 实现 U-turn、停车等路线规划动作。
4. 完整组合各种路线规划算法，形成完整的系统。

车辆控制部分

5. 提高控制车辆的行驶速度。

6. 实现比赛所需要的其他硬件改装。

文章发表计划

7. 无人驾驶车整体介绍。

8. 拟人化的无人车路线规划

7. 城市复杂环境车辆控制算法。