



无人驾驶车辆：从遥控或半自主 到完全自主

邓志东

清华大学智能技术与系统国家重点实验室

北京 · 2012.9.7

提纲 OUTLINES

1、研究目标

2、最新研究进展

3、我们的工作及存在的问题

4、认识与思考

提纲 OUTLINES

1、研究目标

2、最新研究进展

3、我们的工作及存在的问题

4、认识与思考

一、研究目标



1.1 研究意义

国家重大需求:

- ★ 主动安全
- ★ 无人作战平台
- ★ 月球车/火星车
- ★

无人驾驶车 辆集成验证 平台

科学问题:

- ★ 视听觉认知
- ★ 智能决策
- ★ 信息融合理论
- ★ 注意力聚焦与选择机制
- ★

社会影响:

- ★ 已引起社会广泛关注
- ★

1.1 研究意义

国家重大需求:

- ★ 主动安全
- ★ 无人作战平台
- ★ 月球车/火星车
- ★

带动能力极强
辐射能力极广

无人驾驶车 辆集成验证 平台

科学问题:

- ★ 视听觉认知
- ★ 智能决策
- ★ 信息融合理论
- ★ 注意力聚焦与选择机制
- ★

社会影响:

- ★ 已引起社会广泛关注
- ★

1.1 研究意义

无人驾驶车辆，特别是自主车辆技术是智能机器人技术在室外轮式车辆上的扩展；

集成了认知科学、人工智能、计算机技术、控制技术、智能信息处理、模式识别、机器学习、导航技术、通讯技术和车辆工程等众多学科的基础理论和关键技术

1.2 研究目标

以重大科学任务来带动核心关键技术的突破

重大科学任务：

1) 高速公路环境（第二阶段：集成升华）

北京→天津（2013）

北京→深圳（2015？）

2) 比赛环境（每年举行）

2009-2015：中国智能车未来挑战

完成动态未知环境下的智能（图灵）测试

重大科学任务

- 国家自然科学基金重大研究计划
“视听觉信息的认知计算”

从人类的视听觉认知机理出发，发展新的计算模型与计算系统，提高计算机对非结构化感知信息的认知能力和对海量信息的计算能力。

无人驾驶车辆人工认知关键技术与集成验证平台

理论方法+关键技术+工程+试验

- 1、安全性、可靠性、鲁棒性和实时性原则；
- 2、高速公路+比赛环境（城区道路）

★车体改装

★自主感知

★自主决策

★智能控制



提纲 OUTLINES

1、研究目标

2、最新研究进展

3、我们的工作及存在的问题

4、认识与思考

二、最新研究进展



2.1 最新研究进展

从遥控行驶到完全自主

无人驾驶技术的研究已有20多年的历史，早期的研究主要涉及高速公路环境下的遥控或半自主行驶。如CMU的NavLab-5于1995年完成了不用手的半自主驾驶，即计算机控制方向盘，驾驶员控制速度



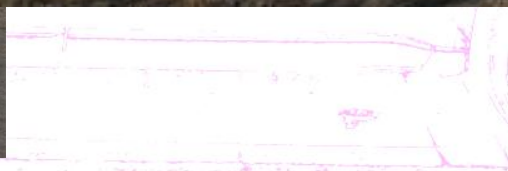
1. 国外的最新研究进展

比赛环境

DARPA

Grand Challenge (2004, 2005)

Urban Challenge (2007)



新丝绸之路

真实道路

The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge



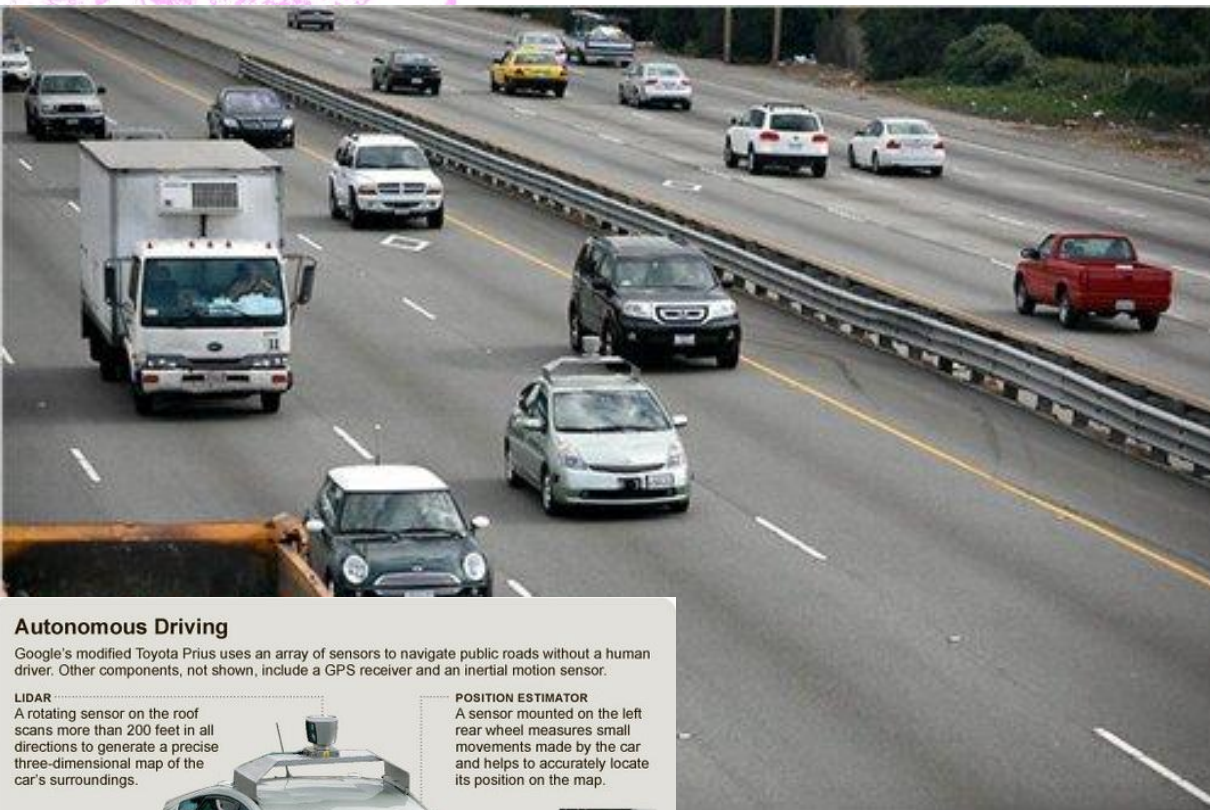
VIAC (The 2010
Intercontinental
VisLab Challenge)
意大利帕尔玛大学
VisLab实验室



Google无人驾驶自主车

真实道路

谷歌共制造了7辆无人驾驶汽车Google Fleet, 已在加州测试近2年。目前已行驶约25.7万km。完全自主行驶总里程已达约1,600km。试验中仅发生过一次危险（后车追尾）



Autonomous Driving

Google's modified Toyota Prius uses an array of sensors to navigate public roads without a human driver. Other components, not shown, include a GPS receiver and an inertial motion sensor.

LIDAR

A rotating sensor on the roof scans more than 200 feet in all directions to generate a precise three-dimensional map of the car's surroundings.

POSITION ESTIMATOR

A sensor mounted on the left rear wheel measures small movements made by the car and helps to accurately locate its position on the map.

VIDEO CAMERA

A camera mounted near the rear-view mirror detects traffic lights and helps the car's onboard computers recognize moving obstacles like pedestrians and bicyclists.



RADAR

Four standard automotive radar sensors, three in front and one in the rear, help determine the positions of distant objects.



德国柏林自由大学

真实道路

2011年9月17日，无人驾驶汽车MIG从柏林勃兰登堡门出发，自主行驶到柏林国际会议中心后，又安全返回出发地；其间顺利通过46个交通灯并绕过两处环岛，整个行程近20公里



沃尔沃 (Volvo)

真实道路



2012年6月沃尔沃无人驾驶汽车SARTRE，在西班牙巴塞罗那高速公路上进行了公开测试。整支车队以时速85公里的速度行驶，两辆汽车相隔仅6米，并在一天内完成了200公里的行程



2. 国内的最新研究进展

中国智能车未来挑战

Future Challenge (2009, 2010, 2011)

比赛环境



2. 国内的最新研究进展

国防科技大学

真实道路

红旗HQ3无人驾驶车辆于2011年7月14日完成了从长沙到武汉286公里的高速全程无人驾驶实验。该车自主超车67次，途遇复杂天气，部分路段有雾，在咸宁还遭逢降雨




提纲 OUTLINES

1、研究目标

2、最新研究进展

3、我们的工作及存在的问题

4、认识与思考

A blue SUV is parked on a street. In the background, there is a 'No Right Turn' sign (a blue circle with a red border, a red diagonal line, and a white arrow pointing right). The scene is set on a city street with buildings and trees.

三、我们的工作及存在 的问题

3.1 研发历史



3.1 研发历史

清华大学智能技术与系统国家重点实验室

从20世纪80后期开始研究移动机器人技术。

自1992年开始，在完成THMR-I、THMR-II、THMR-IIA三种室内移动机器人开发的基础上，开始研究室外移动机器人视觉导航技术和遥控操作技术，先后开发了**THMR-III**和**THMR-V**两款室外移动机器人（智能车）实验平台。

3.1 研发历史

清华大学THMR-III

- 车体选用BJ1022面包车改装
- 彩色摄像机、磁罗盘-光码盘定位、GPS、超声传感器
- Sun Spark 10一台
PC-486两台等

实现了自主道路跟踪



3.1 研发历史

清华大学THMR-V



3.1 研发历史

清华大学THMR-V

- 车体采用道奇7座厢式车改装
- 磁罗盘-光码盘定位
- 彩色摄像机
- 差分GPS
- 激光测距仪
- 视觉导航速度最高达到了154km/h



3.2 我们的工作



3.2.1 总体设计

自2009年开始，在国家自然科学基金重大研究计划重点项目“无人驾驶车辆人工认知关键技术与集成验证平台”的资助下，在3年半时间内，分别研发了**两款自主车辆**，即

☆ **THU-UGV1原理性实验样车**

☆ **THU-UGV2试验样车**

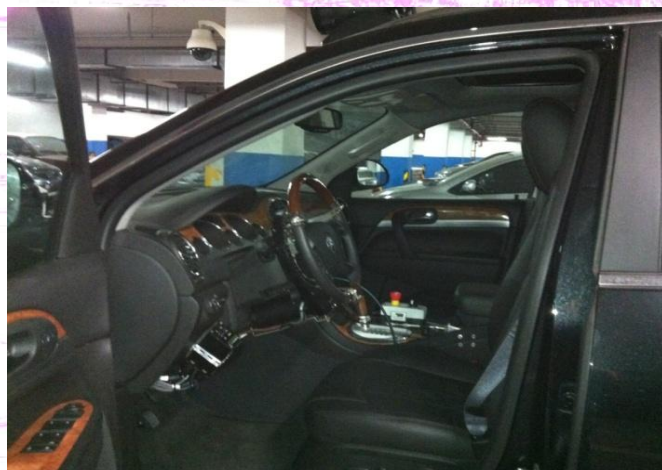
THU-UGV1原理性实验样车

THU-UAV 1以日产奇骏X-TRAIL SUV为基础进行改装，目的在于验证各种车载设备与各项单元关键技术可行性与有效性。



THU-UGV2试验样车

THU-UAV 2改装自美国别克昂克雷3.6L CX1 SUV



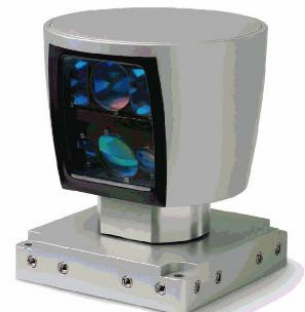
3.2.1 总体设计

两台自主车辆均配置了国际一流的各种车载设备，包括：

- 多核计算机；
- 千兆网交换机；
- Pronto4系统；
- 激光雷达（64线、4线和1线）；
- 数字摄像机；
- 差分GPS/IMU组合导航系统；
- 轮速编码器；
- 差分通讯电台等



Hokuyo
UTM-
30LX



Velodyne
HDL 64E
S2



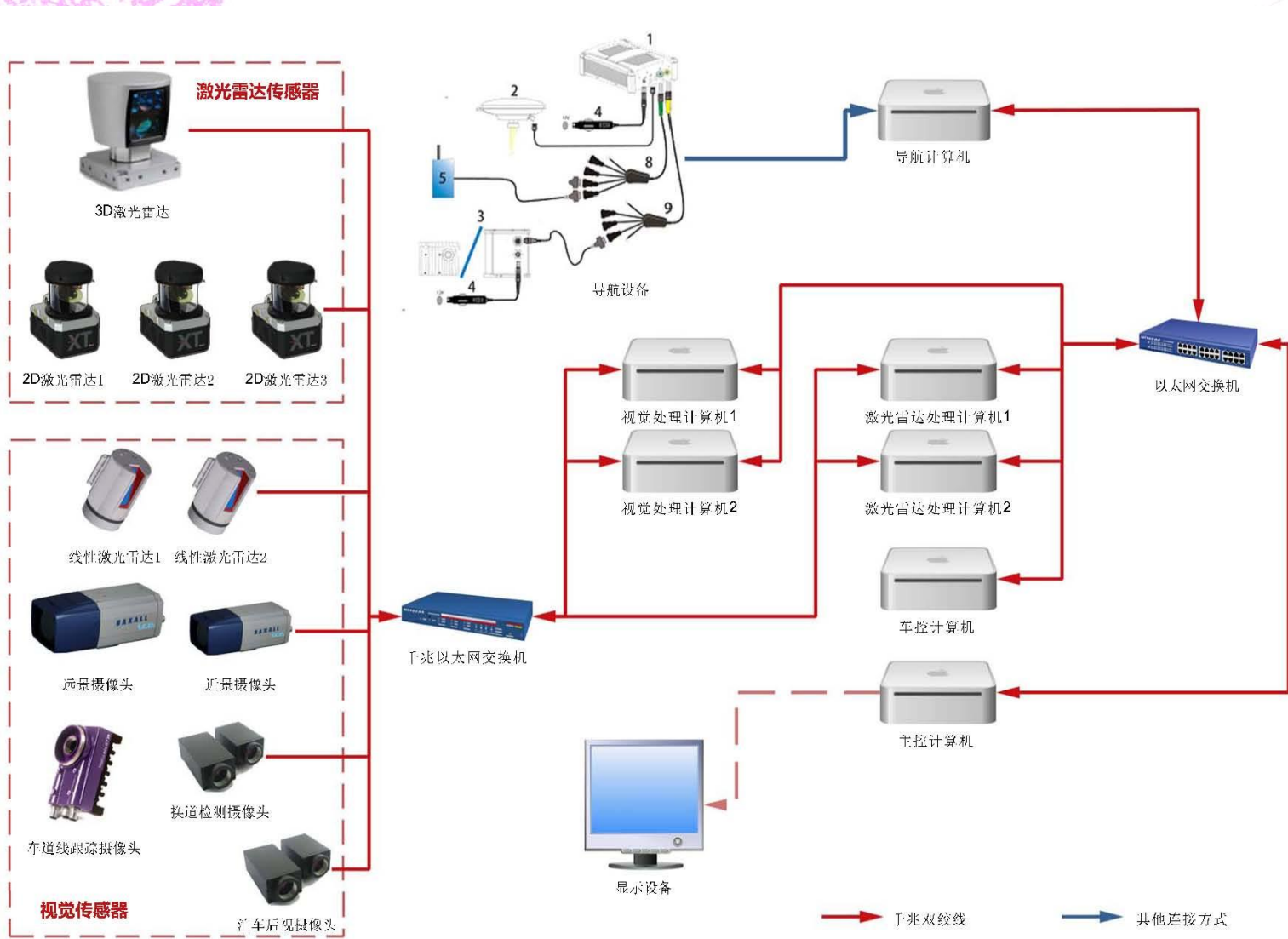
IBEO
ALASCA
XT

3.2.1 总体设计

在**硬件设计**方面，优化了各种感知设备、导航设备与执行机构的安装、配置与布线，完成了多种安装机械结构件的设计加工，以及各种车载设备的系统联调等。

开发了先进的**网控电源管理系统**，完成了车辆的发电机改装与电源系统改造。

3.2.1 总体设计

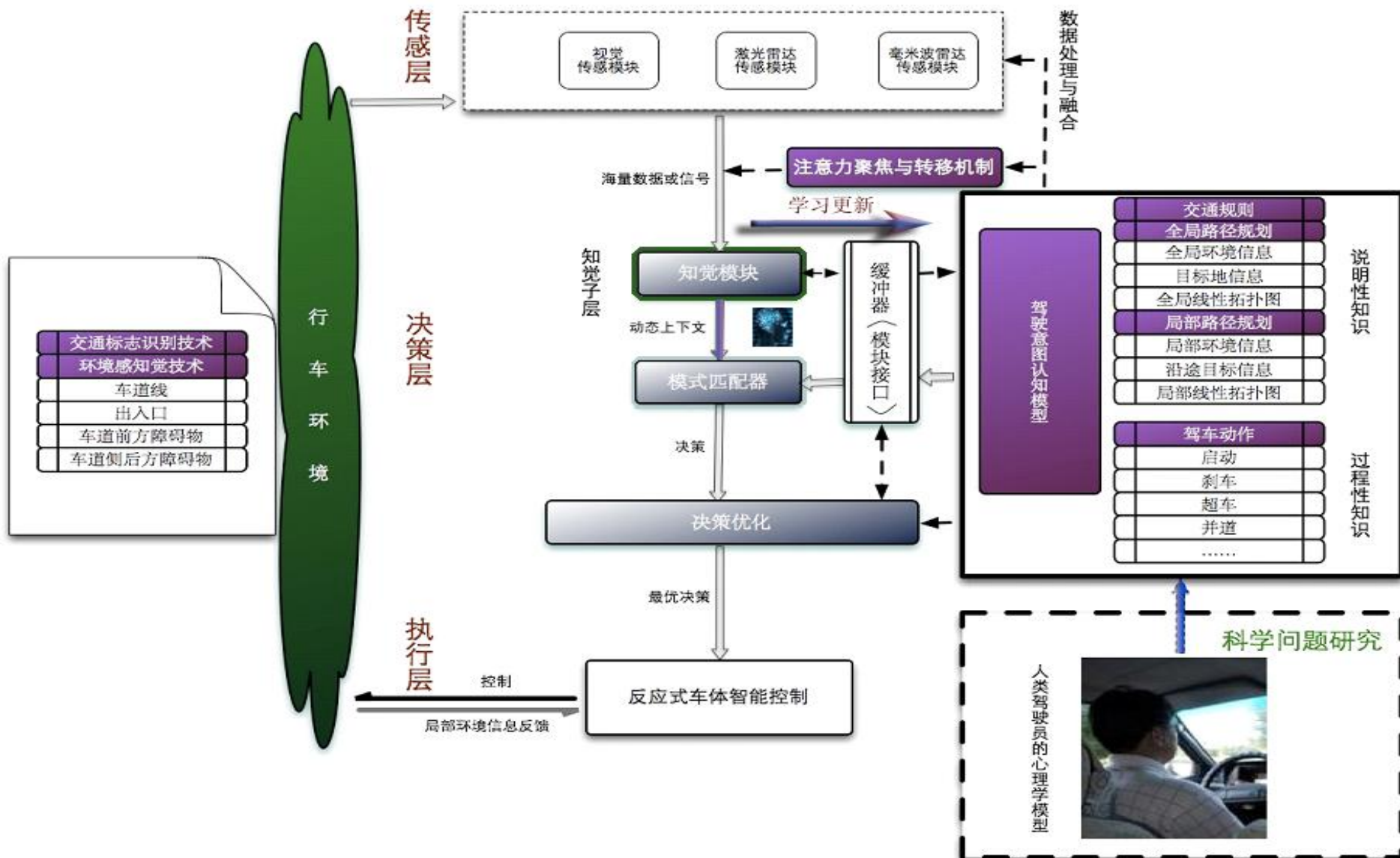


3.2.1 总体设计

在系统**体系结构**设计方面，自行研发了基于12核车载计算机与Linux/Ubuntu的分层体系架构设计，开发了四版先进的基于数据池的软件集成方案。

先后完成了主控单元、决策单元、感知单元、导航单元、规划单元、控制单元和执行单元等的设计与实现

基于ACS的系统结构设计



体系结构



高性能嵌入式计算机

- 采用标准x86架构的嵌入式计算机；
- 采用Intel Core Duo 2GHz 主频的CPU，以满足系统性能要求；
- 2个千兆以太网接口，4个串口，方便连接设备

嵌入式实时操作系统

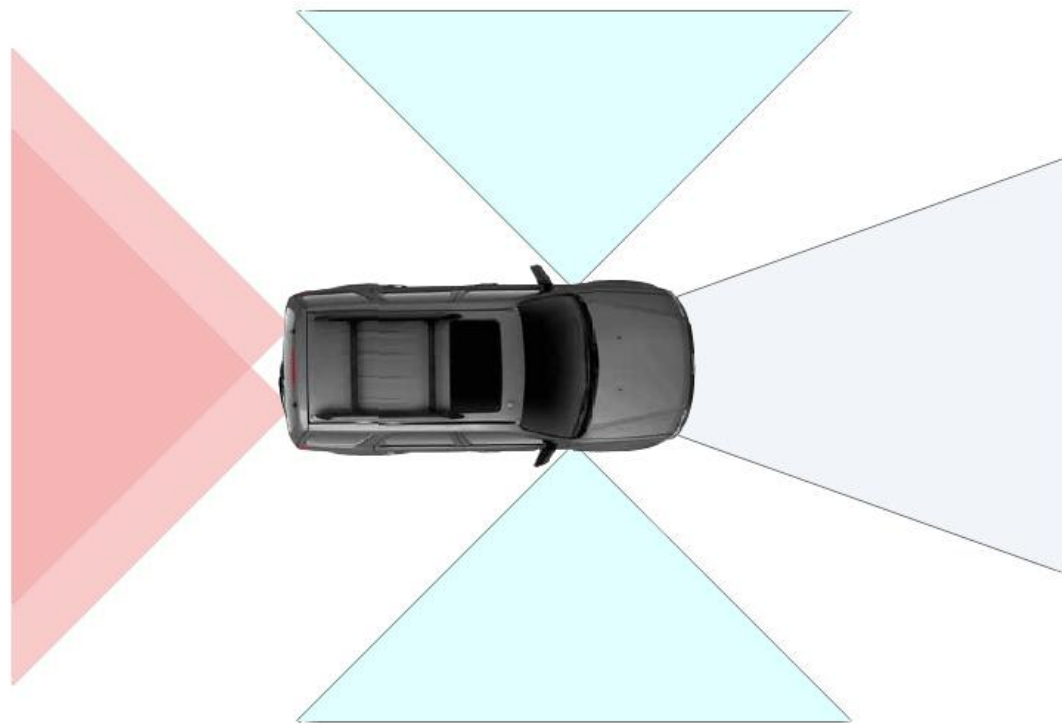
- 采用Debian/Ubuntu Linux操作系统
- 实时Linux补丁ART-Linux
 - 设备驱动和应用程序可重用而不需要修改其中的内容;
 - 在用户层提供了对操作系统实时性的支持, 可以达到10毫秒的精度
- 提供内部发行版本与日常更新

1.2 车辆选型与改装方案

- **BWM X3与X5;**
- **奇骏X-TRAIL;**
- **Ford Hybrid Escape**
 - 混合动力
 - 排量2.3L
 - 可提供330V, 6KW电力

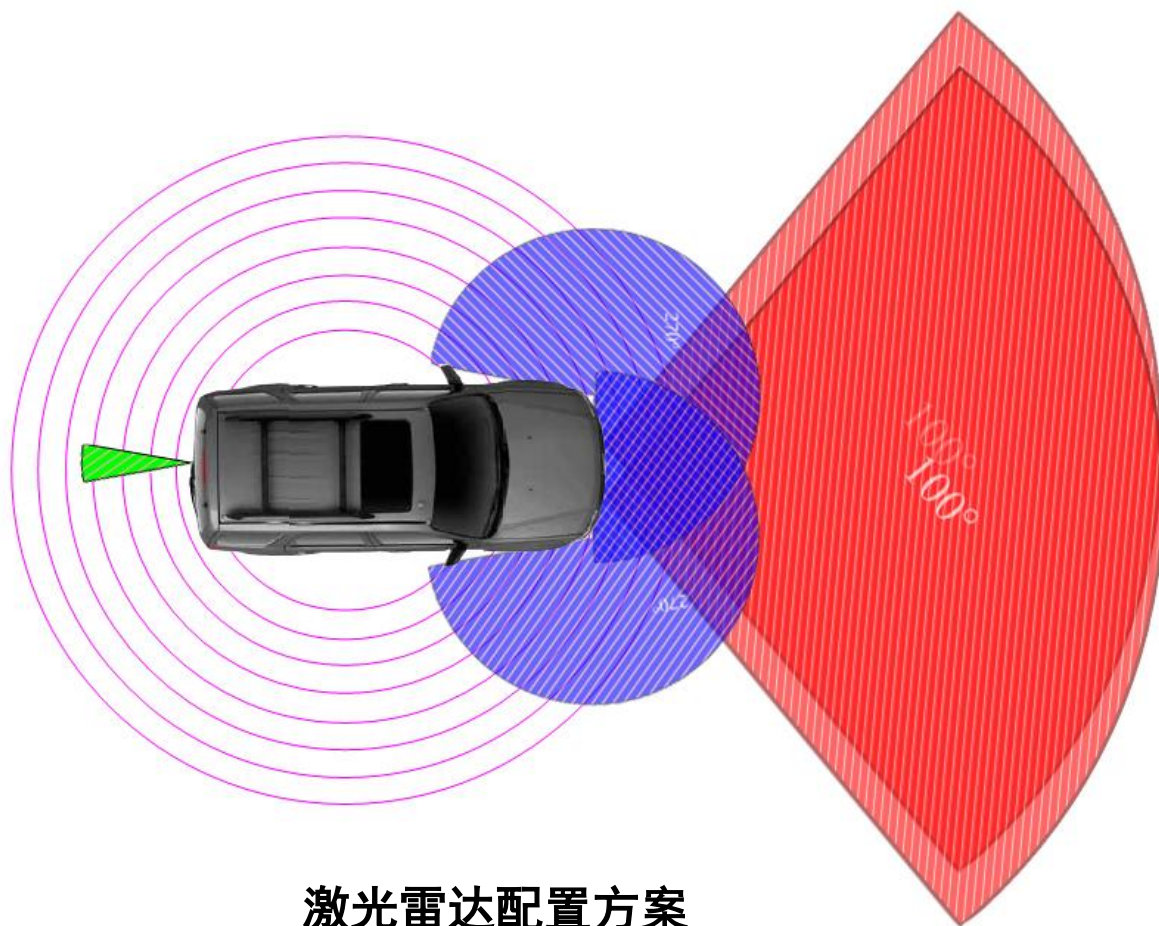


传感器配置方案设计



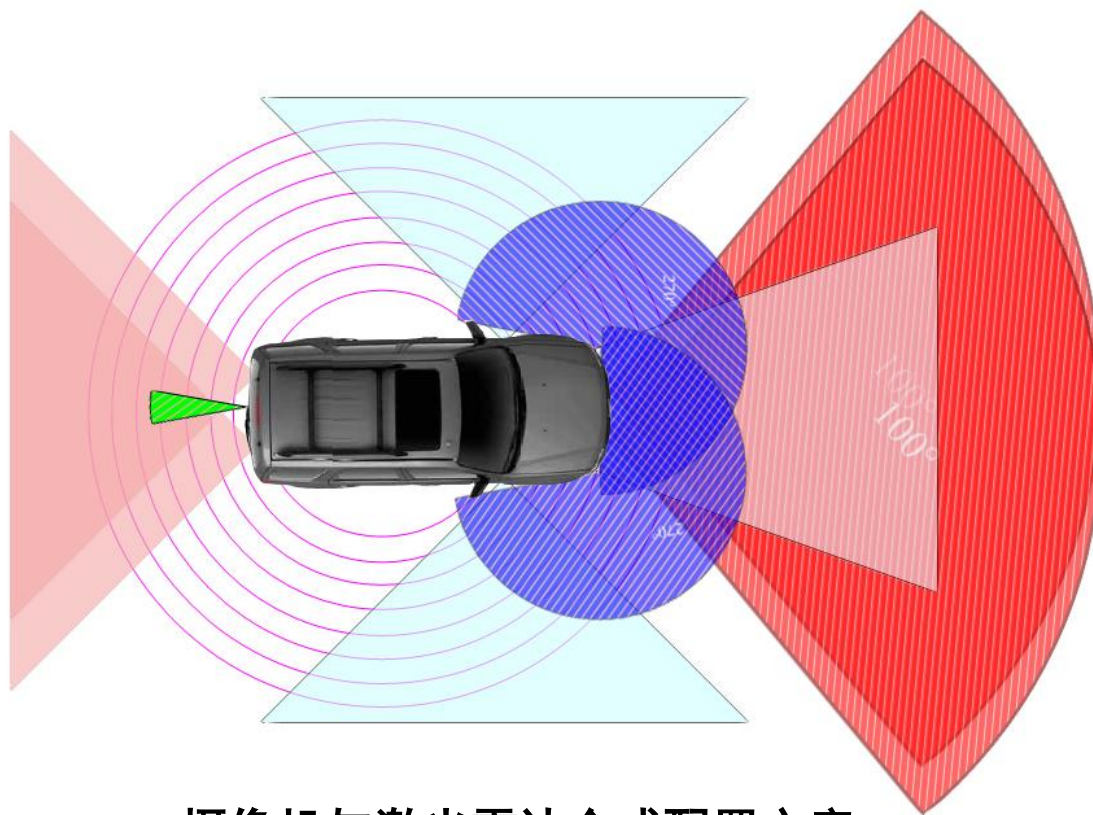
摄像机配置方案

传感器配置方案设计



激光雷达配置方案

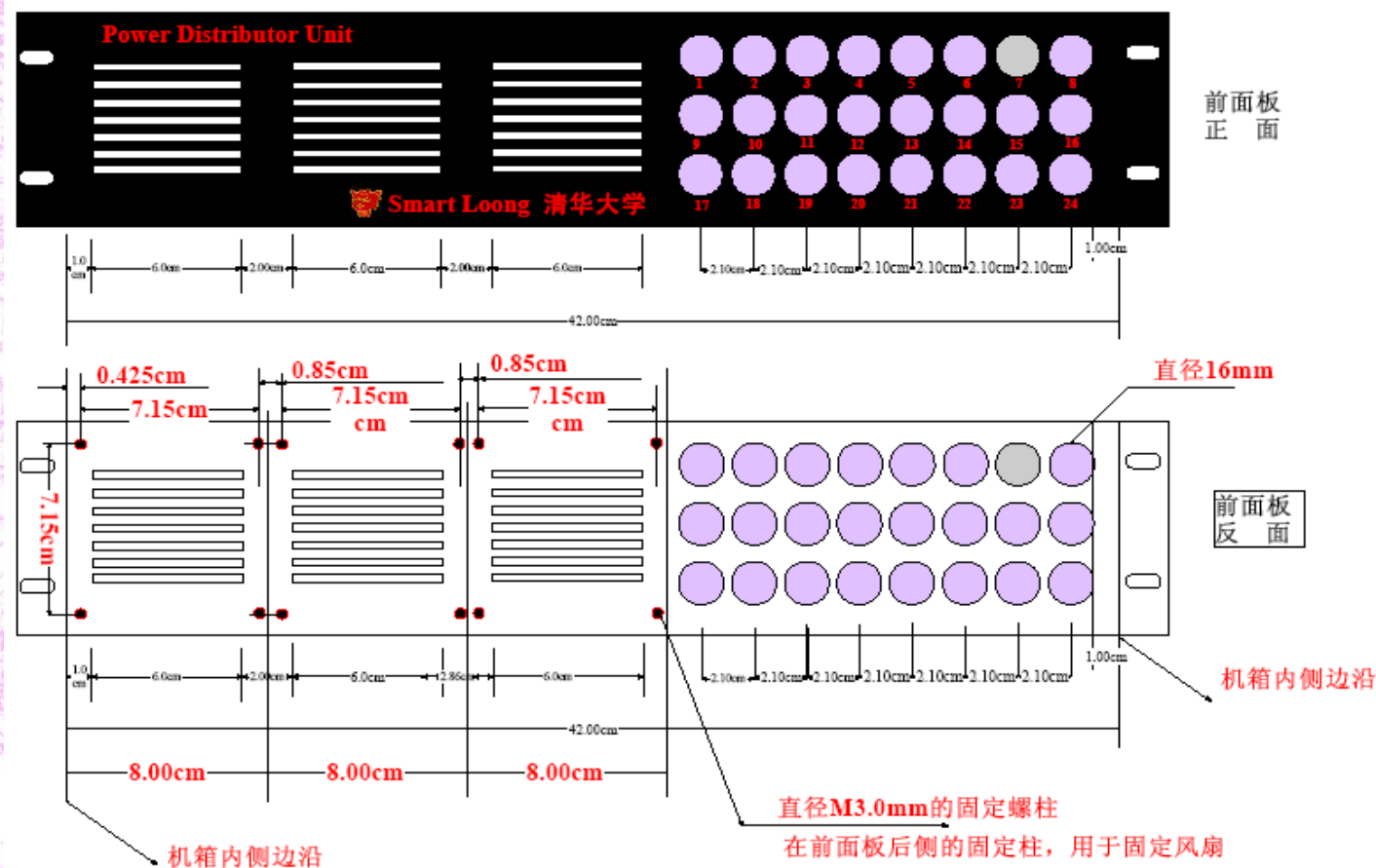
传感器配置方案设计



摄像机与激光雷达合成配置方案

电源系统设计与研制

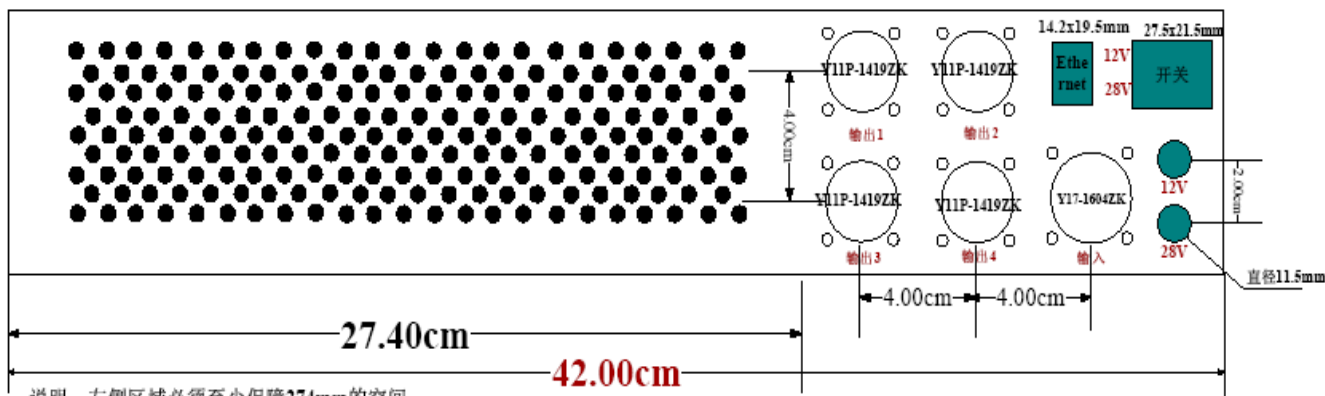
前面板



- 说明：1、前后面板的字色保持一致，都采用较亮的红色，以增强同黑背景的对比度；
2、图标的实体采用和印字的颜色相同的亮红色，清华大学4个字用黑体，字的位置可以根据外观的美观情况进行调整
3、图标内显示的黄色直接用底色黑色，因此外部印字时只需要一种亮红就可以了，原来说的双色方案取消。

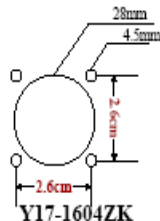
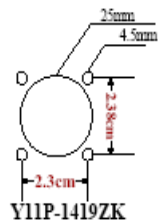
电源系统设计与研制

后面板



说明：左侧区域必须至少保障274mm的空间

右侧的航插和其他开关可以根据具体情况调整，图中给出的航插距离为中心距不小于4.0cm，具体航插尺寸参见下图



3.2.2 若干关键技术突破

在车辆的底层改装、人工认知系统体系结构、多源异构信息融合技术、基于摄像机/激光雷达的自然环境感知技术、动态地图建构、智能决策技术、智能综合控制技术、高精度组合导航技术、各种交通标志的自动识别技术、GIS与全局路径规划等自动驾驶关键技术，取得了大量的阶段性成果，积累了丰富的研发经验。

若干关键技术:

- 1、自主环境感知与导航
- 2、自主决策与运动规划
- 3、智能控制



1、自主环境感知与导航

全局路径规划与GIS

自然环境感知（基于激光雷达、毫米波雷达、视觉、红外成像等）

环境建模与3D感知数据的理解

人工认知技术

信息融合方法

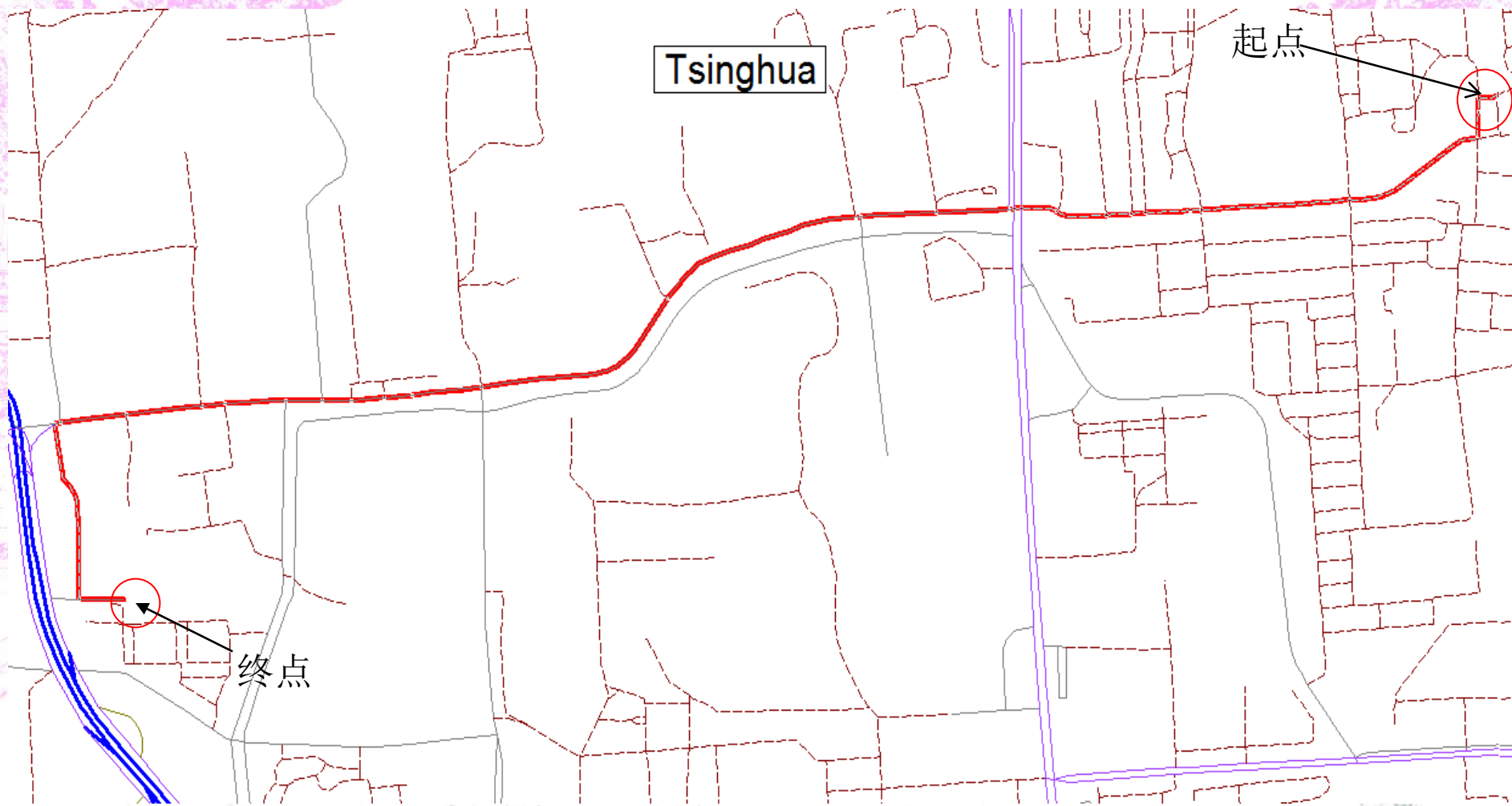
长时高精度组合导航算法



视听觉信息的认知计算



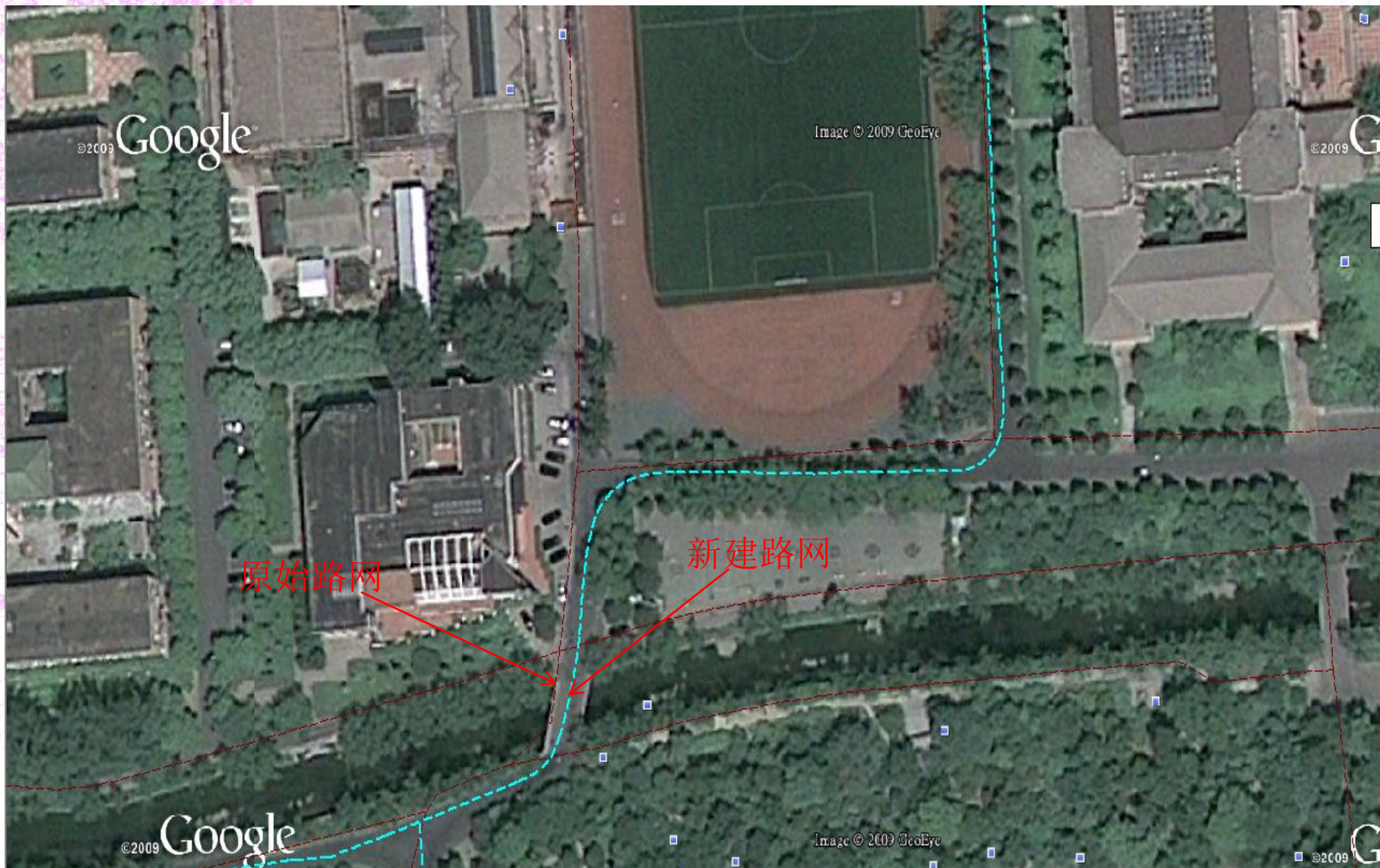
全局路径规划与GIS



卫星图片 的导入

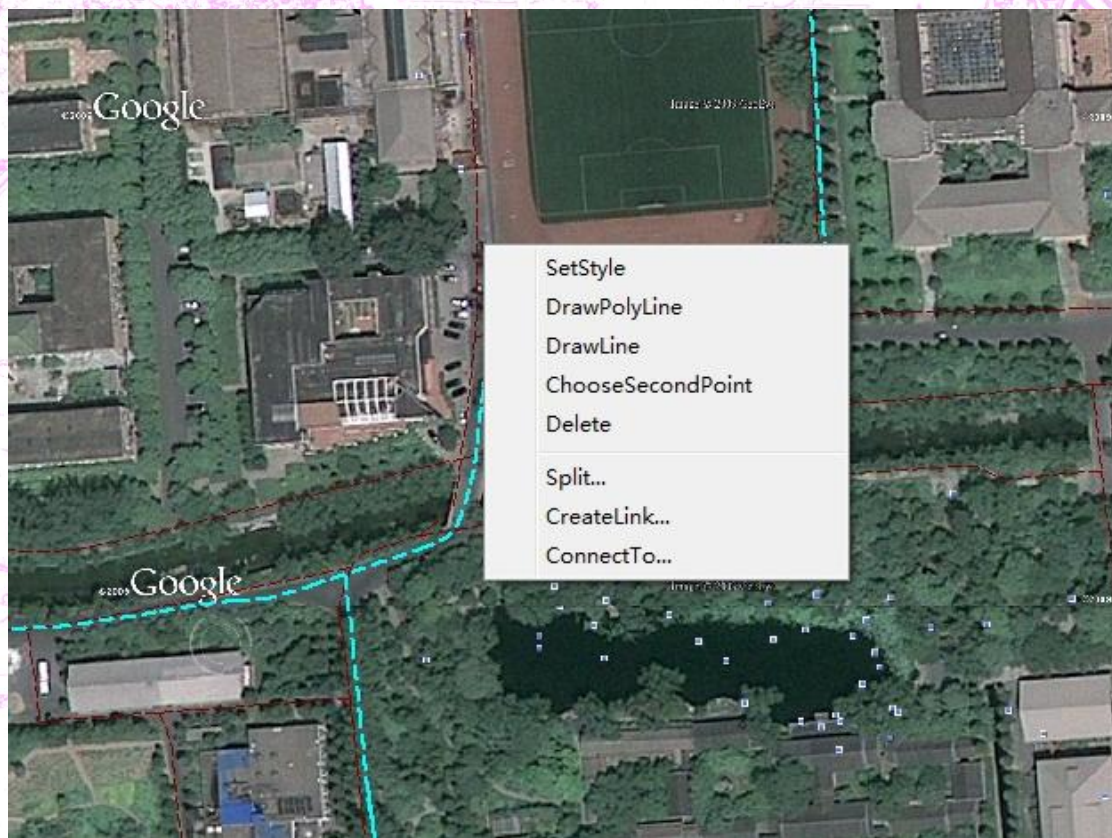


利用高精度GPS建立精确路网



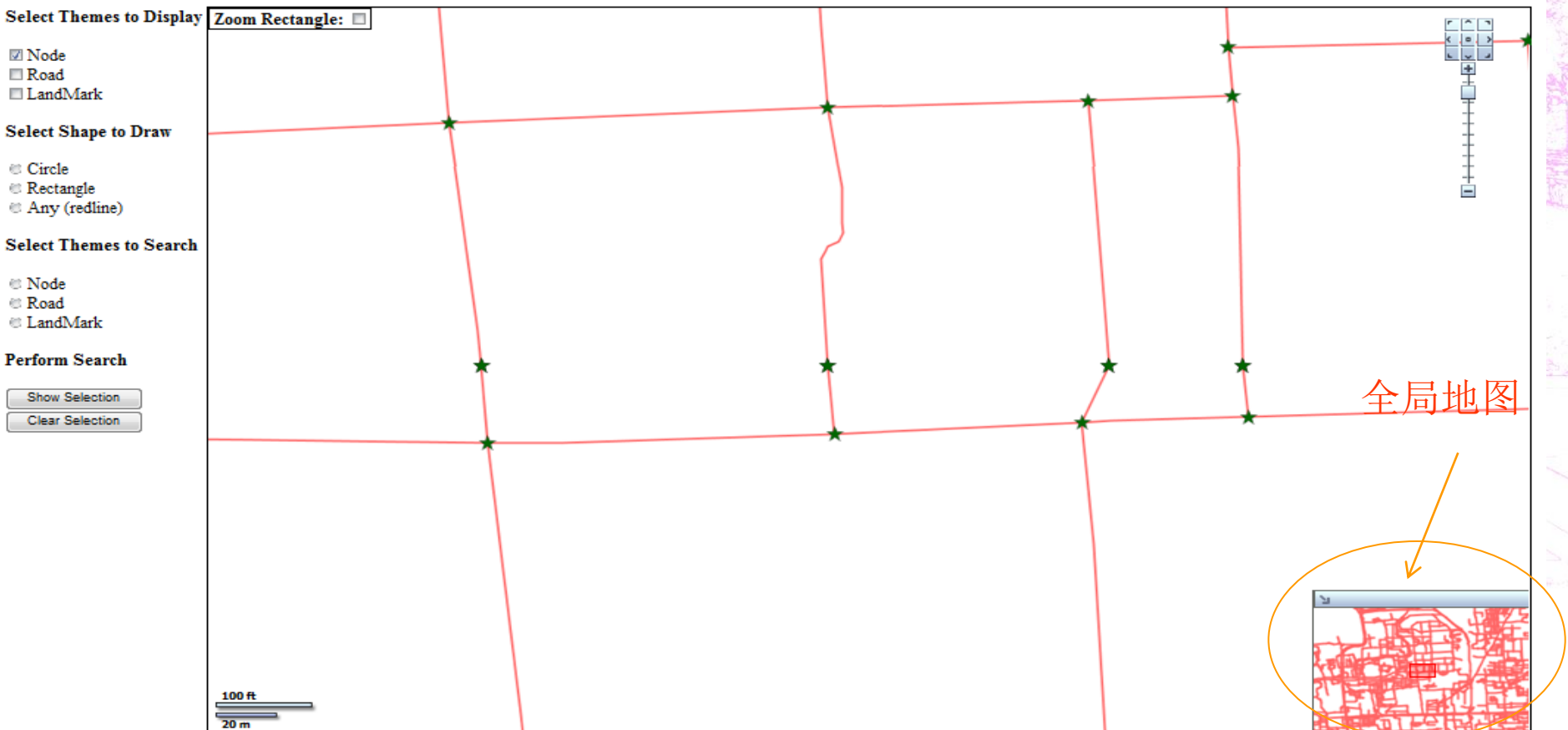
2D电子地图的编辑功能

实现地图在线编辑，包括新加路点，删除路点，插入边，删除边等功能



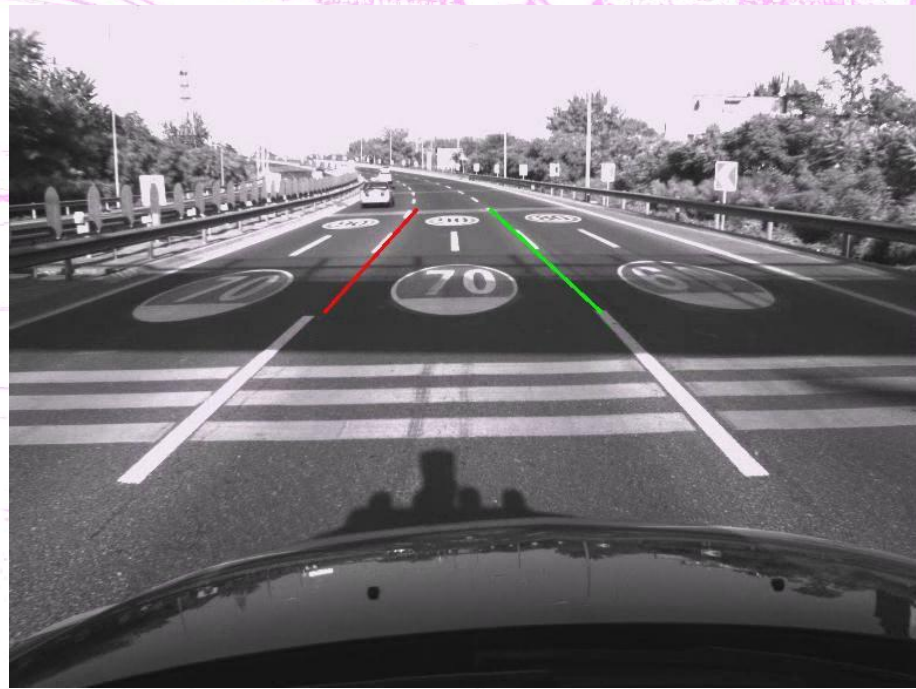
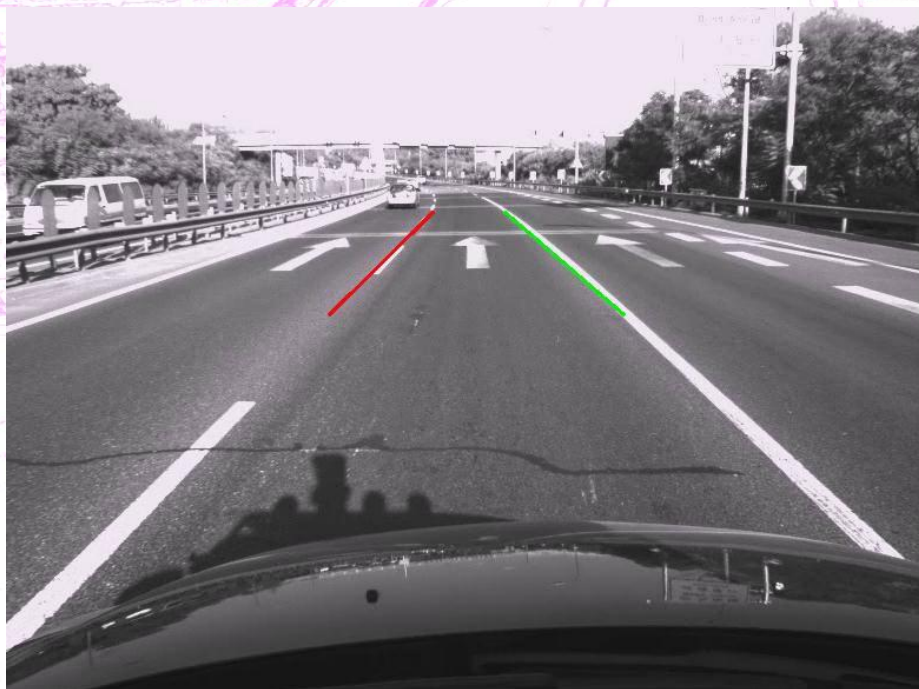
空间数据库

- 建立空间数据库，完成快速空间搜索功能以及实现系统平台无关性。



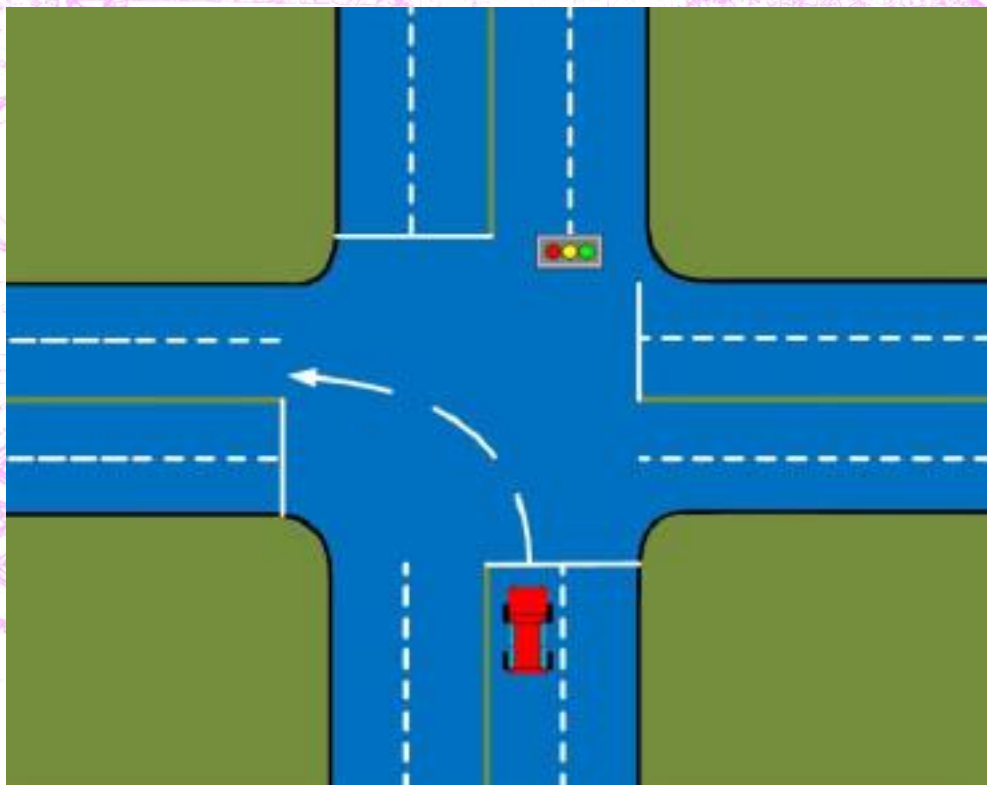
环境理解与道路跟踪

- 基于摄像机的车道线检测与跟踪
- 基于HDL的马路牙子检测与跟踪
- 基于HDL的路面检测与跟踪
- 基于HDL/毫米波雷达的护栏检测与跟踪



复杂路口的穿越

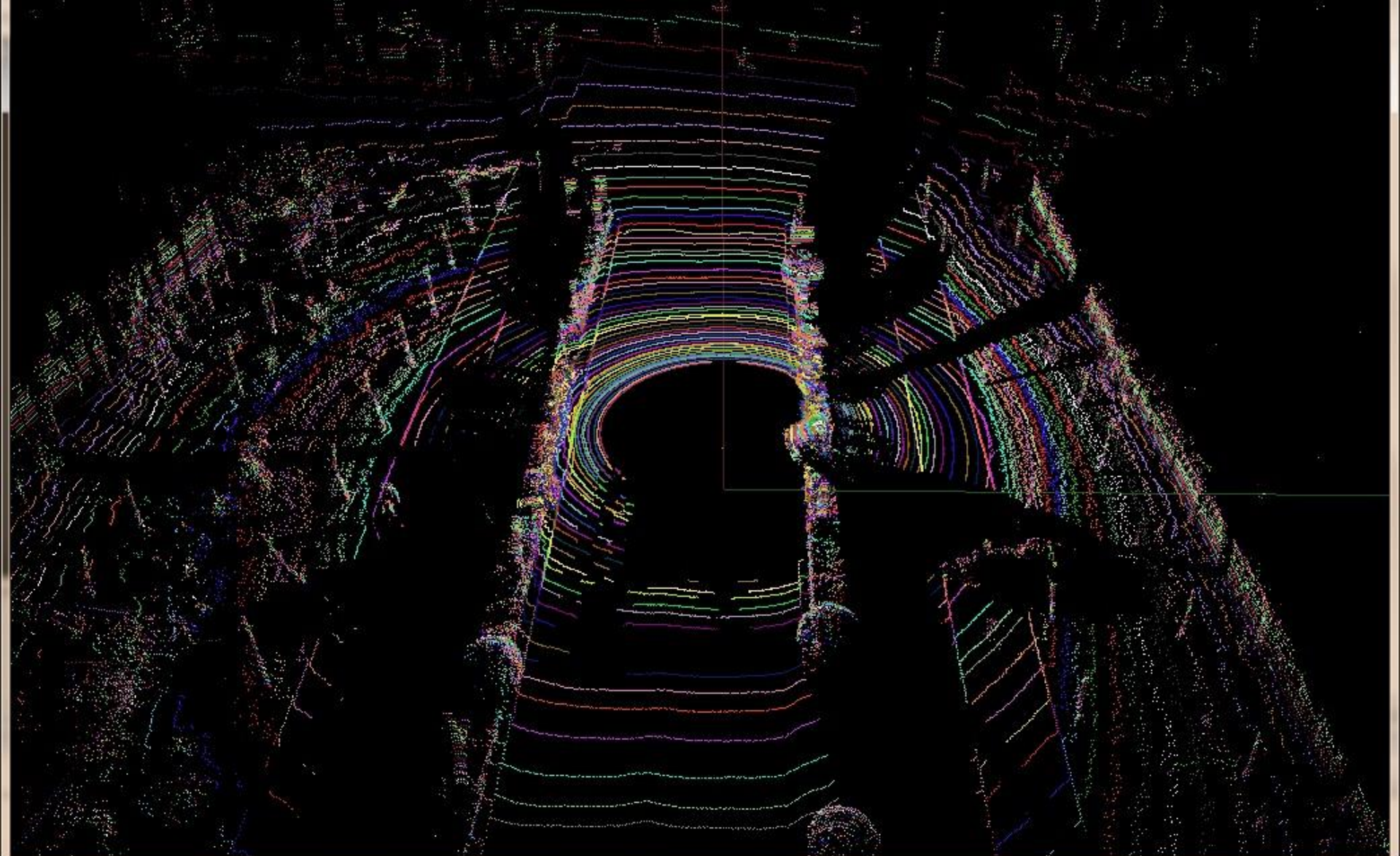
- 结构特征不明显
- 丁字、十字；大、中、小



file total frame: 1304
current frame : 60

[space] to pause
[j k u i m .] to change frame

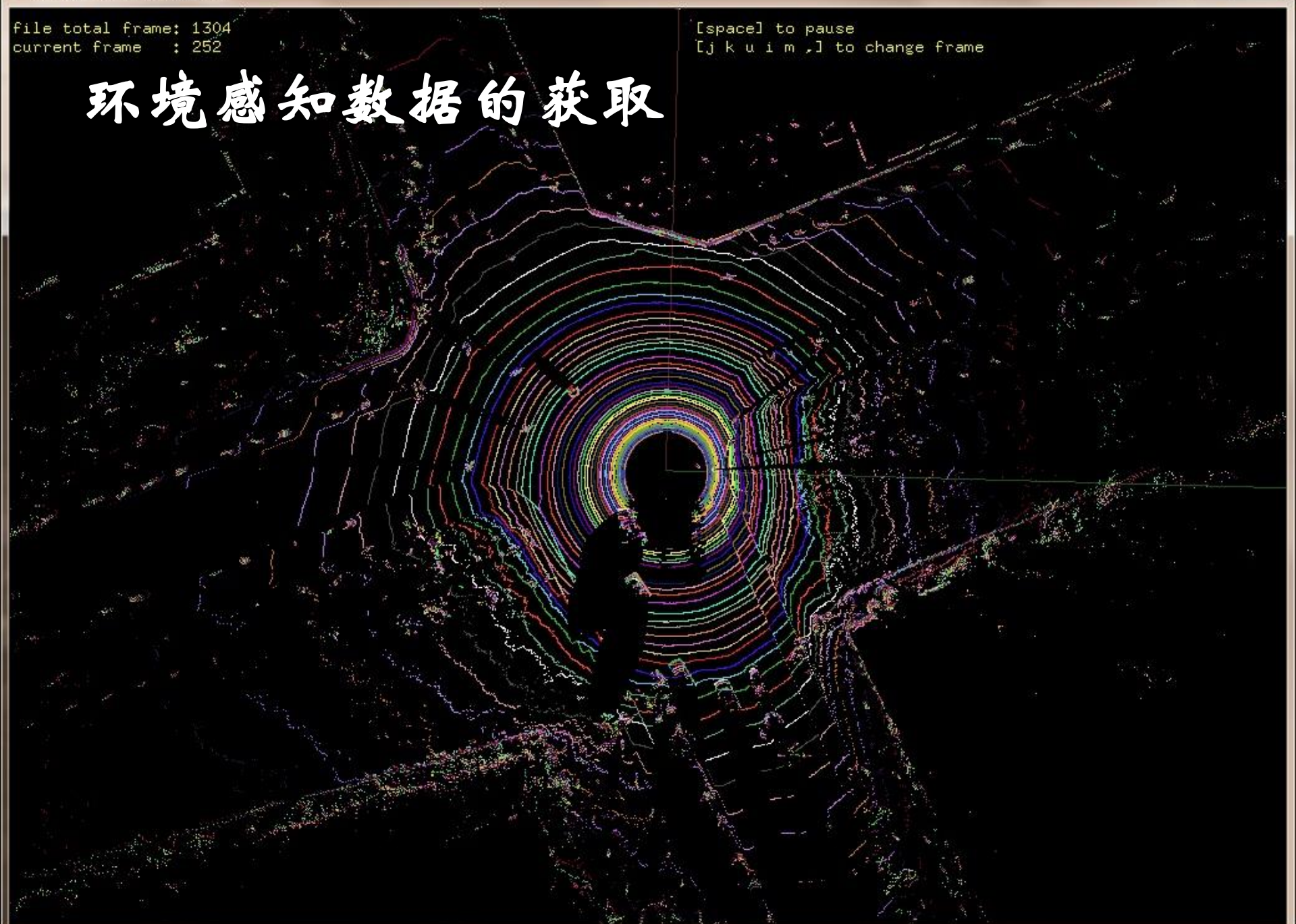
环境感知数据的获取



file total frame: 1304
current frame : 252

[space] to pause
[j k u i m ,] to change frame

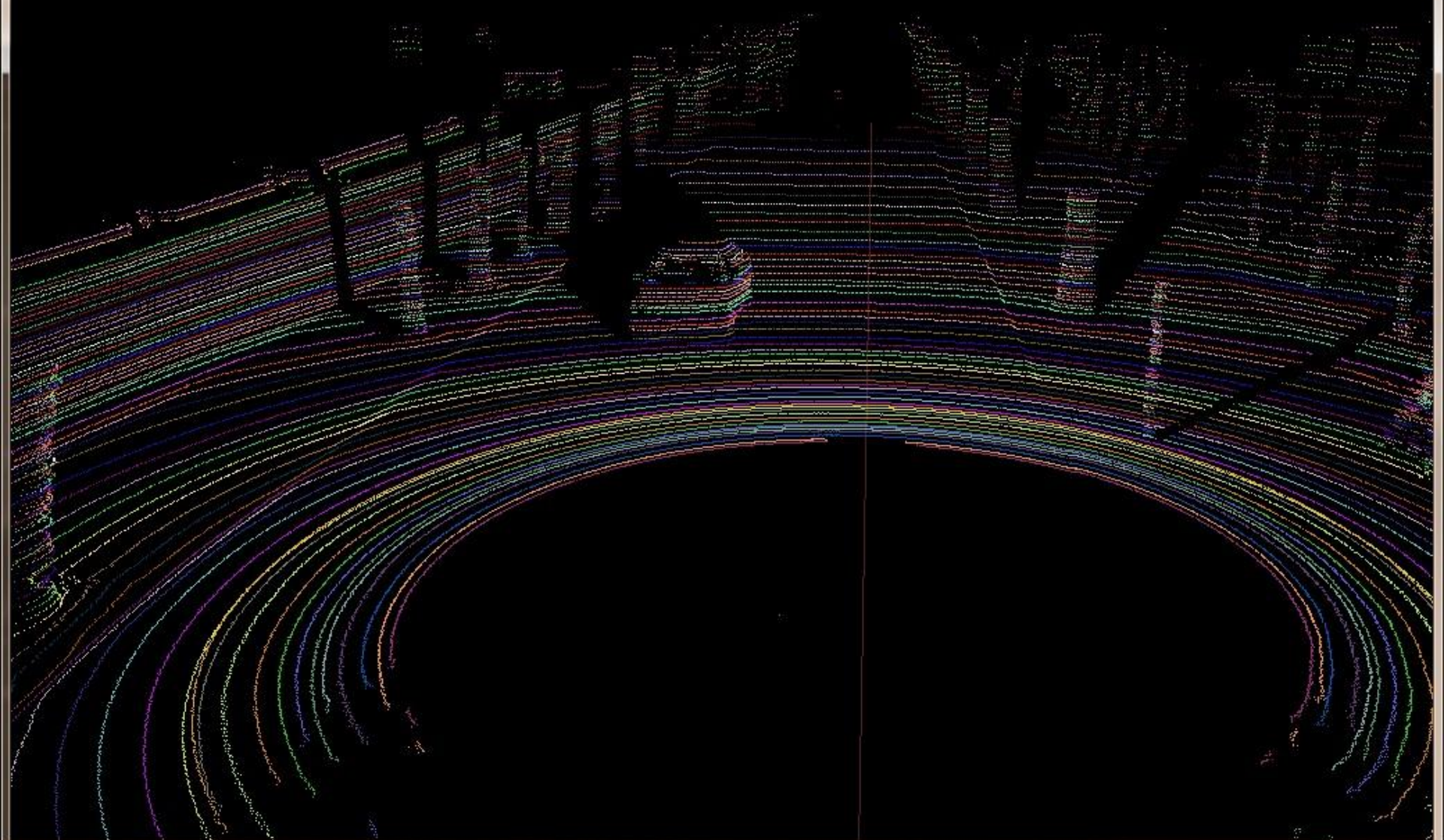
环境感知数据的获取



file total frame: 1304
current frame : 399

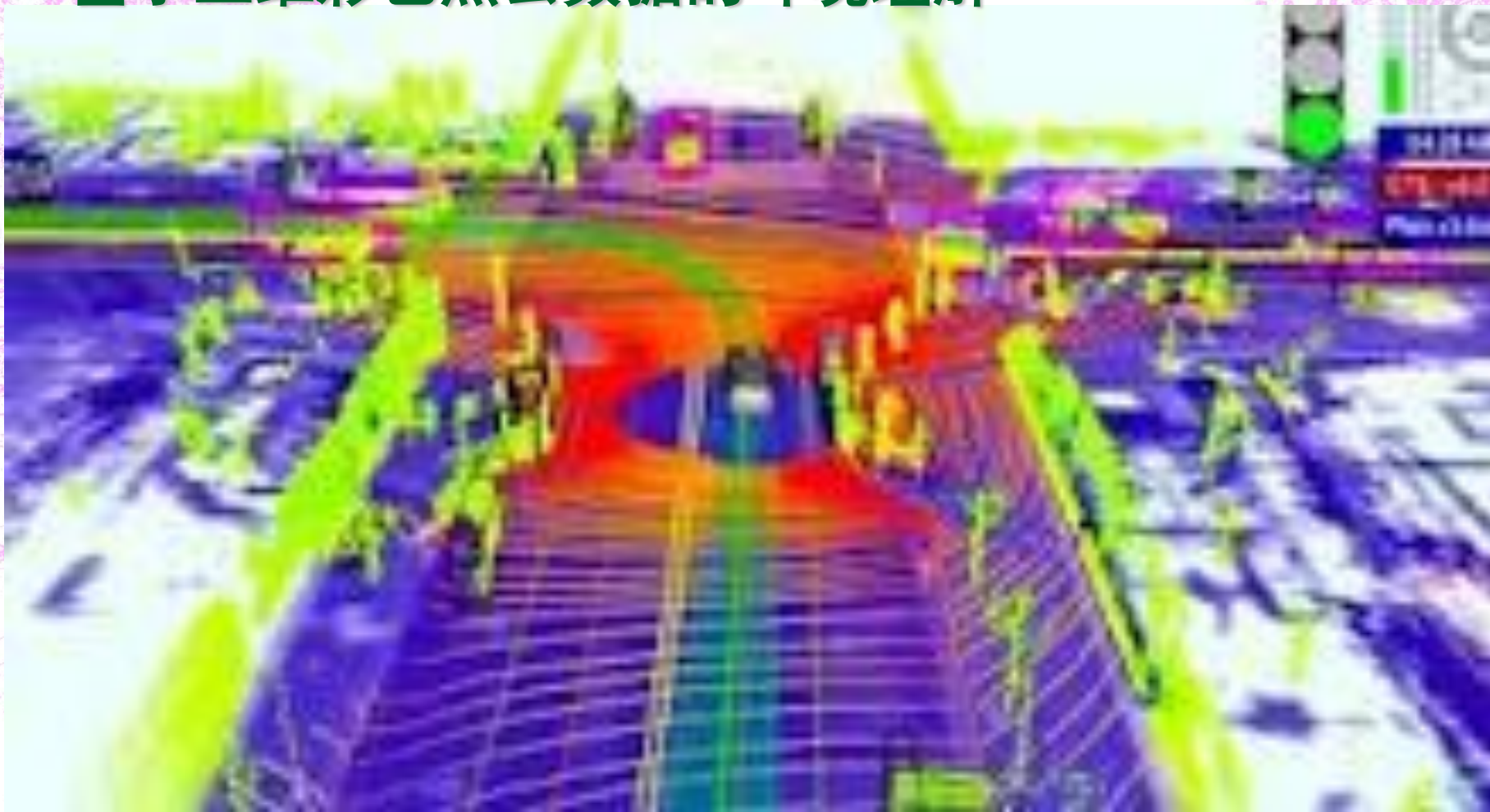
[space] to pause
[j k u i m ,.] to change frame

环境感知数据的获取



3D环境建模与感知数据的理解

基于三维彩色点云数据的环境理解



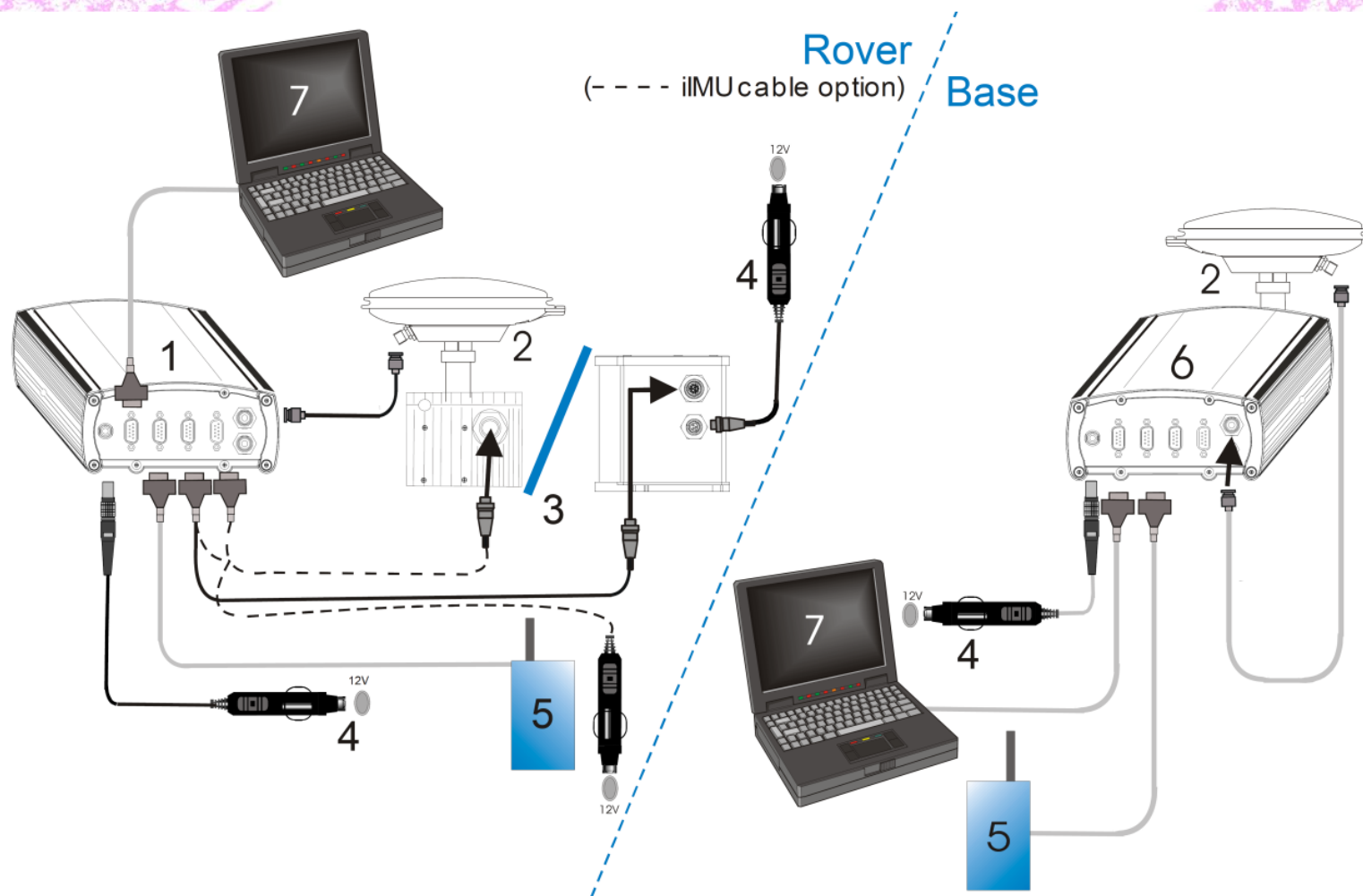
3D环境建模与感知数据的理解



3D环境建模与感知数据的理解



DGPS/IMU 组合导航设备



DR/路标/DGPS/IMU 高精度组合导航



2、自主决策与运动规划

驾驶意图的体现与融合

行驶模式与高层自主决策

决策指导下的动态感知与注意力聚焦及转移

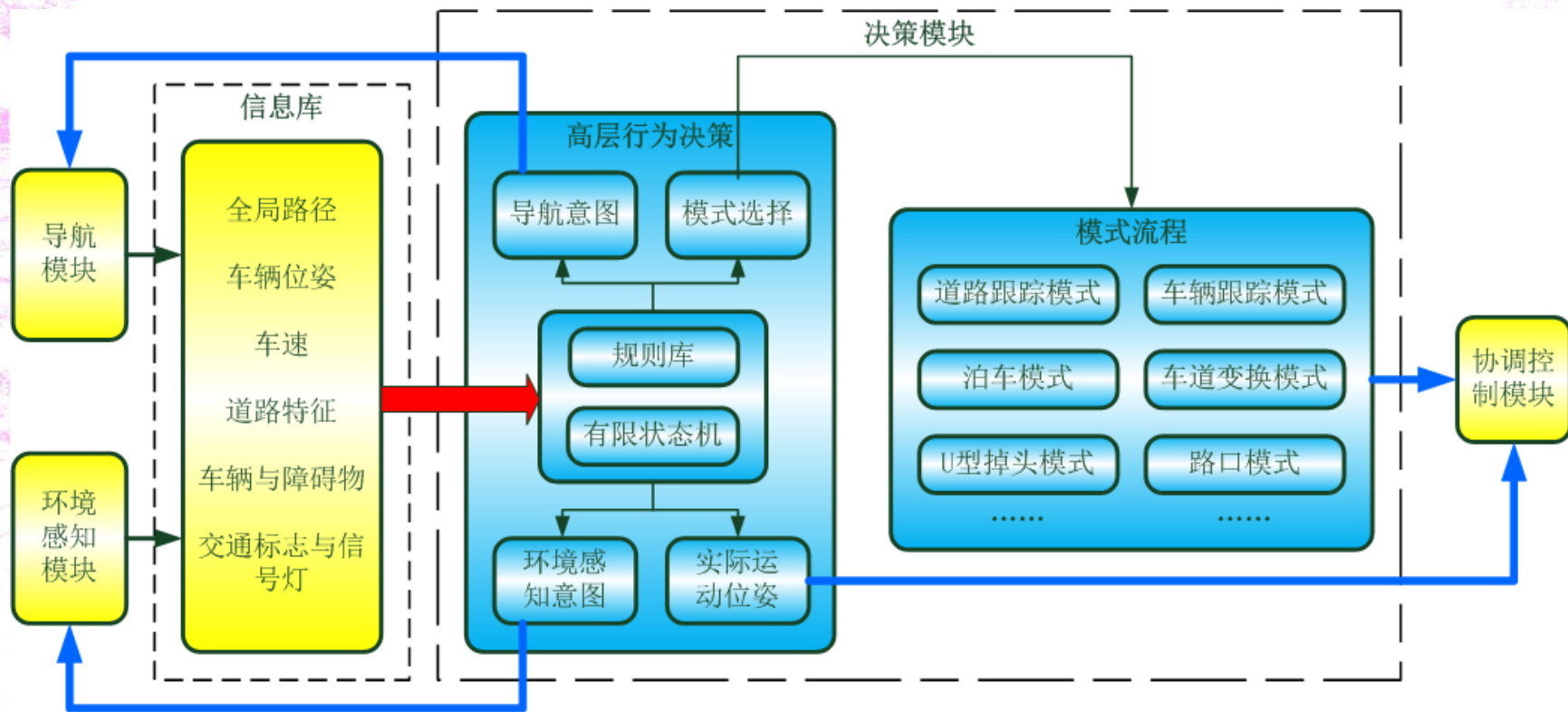
基于道路先验知识和模型的底层决策序列

基于3D环境模型的实时轨迹规划

基于参数化模型的实时速度规划

3.3 自主决策与运动规划

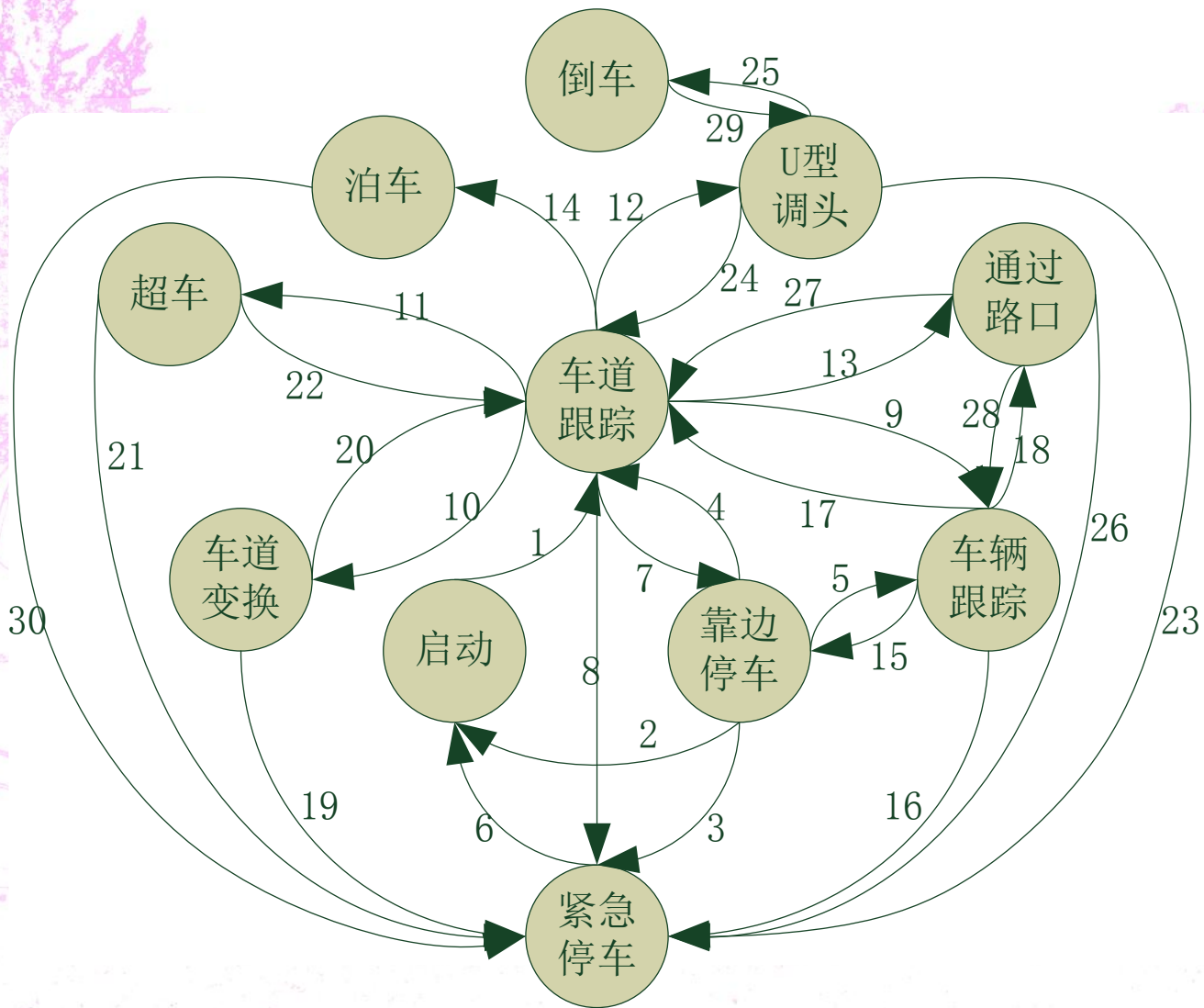
自主决策系统



行为模式与原子动作的关系

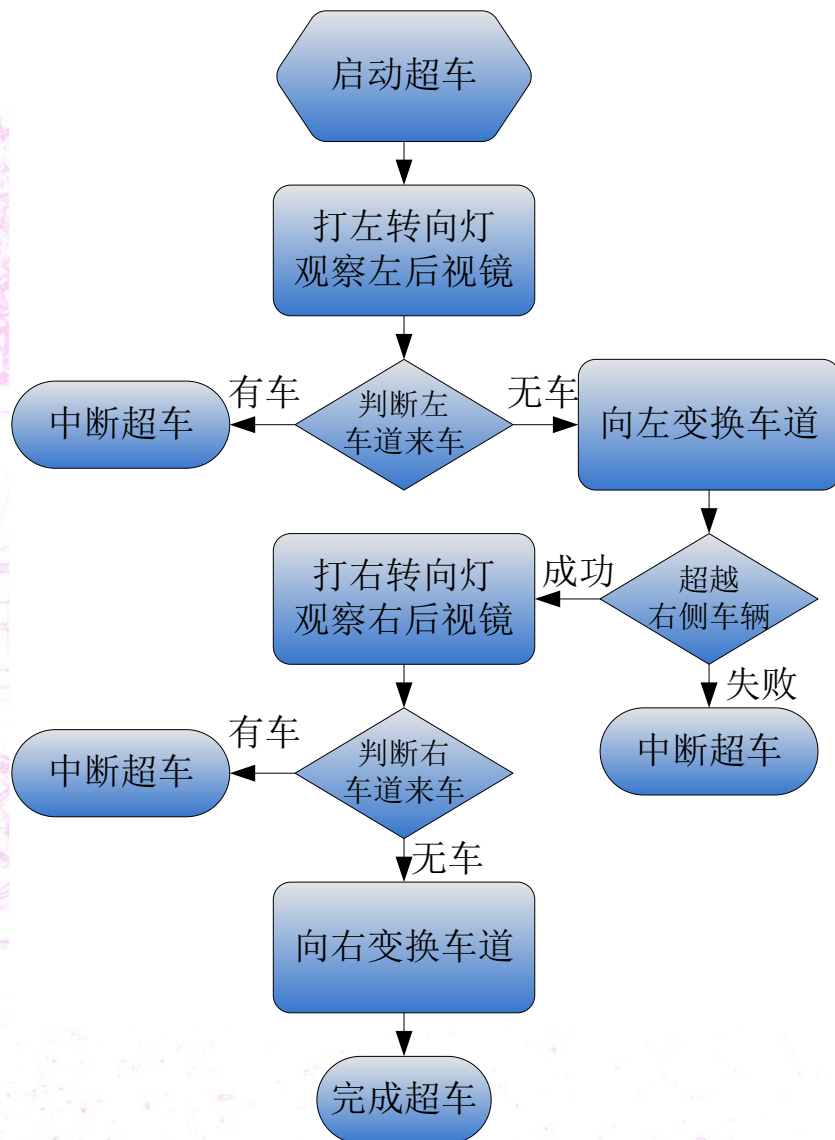
类别	点火	熄火	换挡	变速	转弯	其他
启动	●		●			
停车		●	●	●		
紧急停车				●		
车道跟踪				●	●	○
车辆跟踪				●	●	○
车道变换				●	●	○
超车				●	●	○
U型转弯			○	●	●	○
通过路口				●	●	○
倒车			●	●	●	○
泊车		●	●	●	●	○
其他						

有限状态机设计

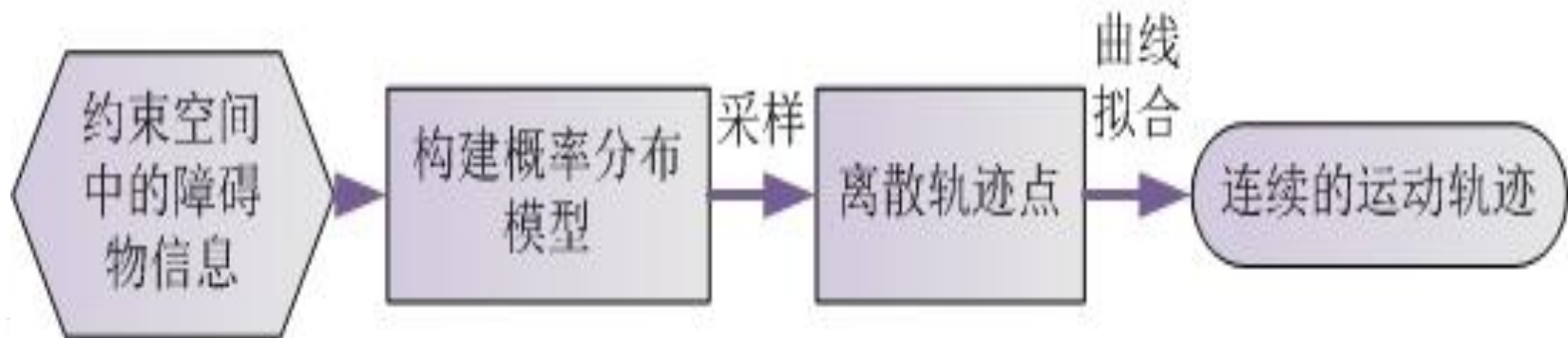


自主决策

以超车为例



基于参数化的运动规划



$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi\sigma} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{4\sigma}\right)$$

分段三次hermite插值

3、智能综合控制

底层执行机构：

- 转向、油门、刹车
- 档位 (P/R/N/D)
- 灯光、鸣笛等辅助设备

☆速度控制

☆方向控制

☆智能安全控制技术

☆智能故障检测与诊断技术

3.2.3 试验情况

目前THU-UAV 2试验样车已能初步完成真实城区道路交通环境下的各种自主行驶功能，包括：

- 轨迹跟踪；
- 道路跟踪, 交叉路口通过；
- 紧急制动, 安全减速, 变道绕障；
- U型掉头；
- 信号灯/交通标志牌/停止线暂停；
- 自动泊车等

我们已在THU-UAV 2试验样车上实现了闭环的车速控制（真实道路上最高可达120km/h以上，未加方向控制），直道轨迹跟踪可达80km/h（速度+方向控制）。



直道跟踪 (20km/h以上)



弯道行驶

5月14日检查录像

THU-UAV 2试验样车的改装及自主行驶情况，曾在中央电视台新闻频道中进行过采访报导并播出（2011年10月19日下午）。



路口等待



变道绕障

3.2.3 应用之一：

主动安全辅助驾驶技术

- 1、机场、港口、公园、厂区等相对封闭与较小环境下的自动驾驶；
- 2、高速公路下的自动巡航功能/前车安全减速功能；
- 3、车道偏离预警与自动修正的辅助驾驶功能；
- 4、主动安全避碰功能（如避免追尾及与行人碰撞的主动安全辅助驾驶技术）；
- 5、变道安全预警功能；

3.2.3 应用之一： 主动安全辅助驾驶技术

- 6、自动泊车功能；
- 7、交通标志牌的自动识别与示警功能；
- 8、交通信号灯的自动识别与示警功能/红灯预警与紧急制动功能；
- 9、车载导航仪（具有自主知识产权，基于Linux，技术成熟）

3.3 存在的问题



目前我们还在对THU-UAV 2试验样车进行不断的改进，包括：

- 1、硬件系统的可靠性
- 2、高速高机动自主行驶时控制系统的动态品质与稳态精度
- 3、高速公路环境（50km/h以上）的自主行驶（高可靠性，今年10月参加比赛）

4、基于三维彩色点云数据的动静态障碍物的理解（机动车/非机动车/行人/道路），特别是对可通行区域的识别

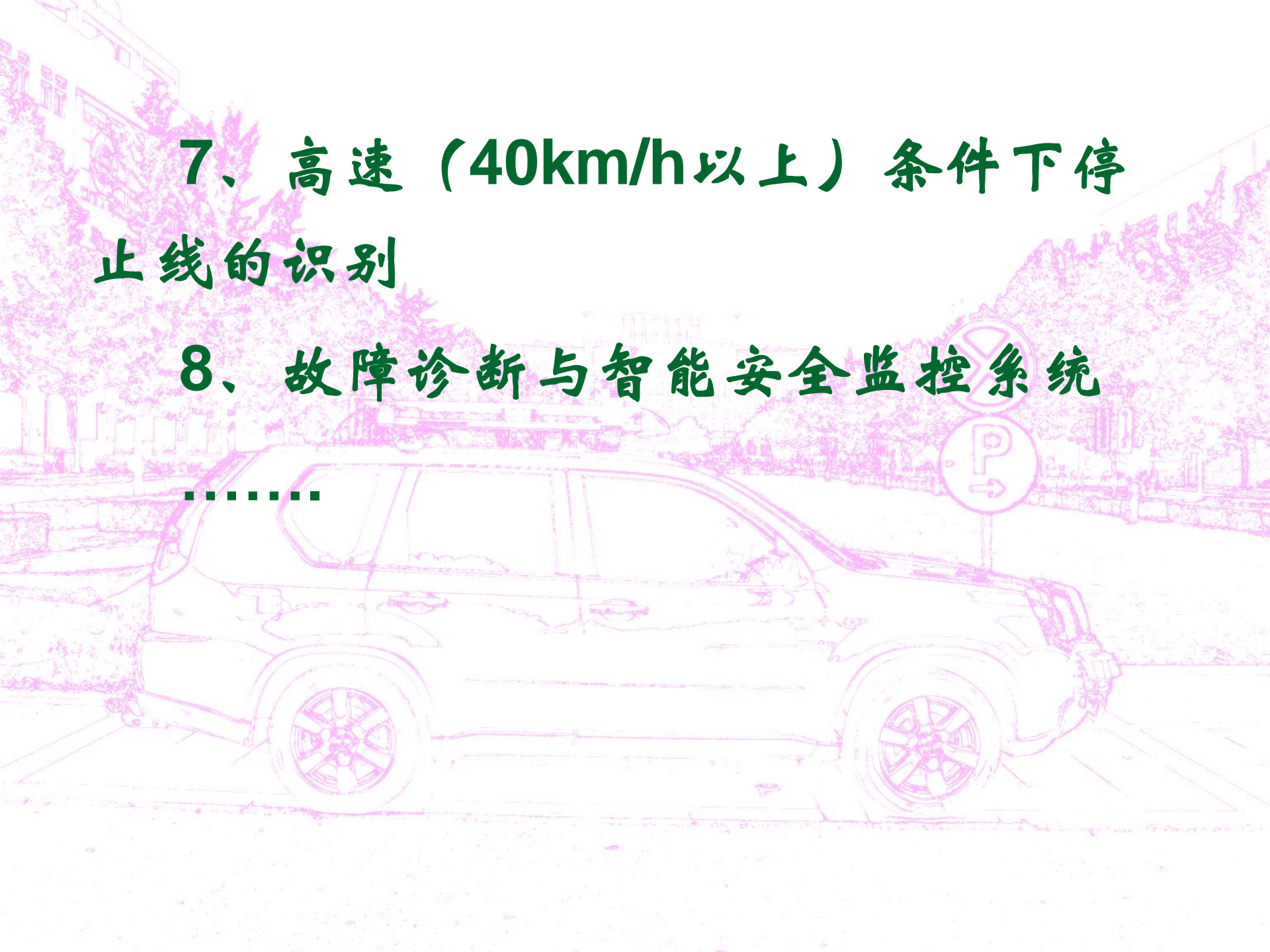
5、高速（40km/h以上）条件下交通信号灯的识别（正确率99%以上）

6、高速（40km/h以上）条件下交通标识牌的分割、检测与跟踪（正确率98%以上）

7、高速（40km/h以上）条件下停止线的识别

8、故障诊断与智能安全监控系统

.....



提纲 OUTLINES

1、研究目标

2、最新研究进展

3、我们的工作及存在的问题

4、认识与思考

4、认识与思考

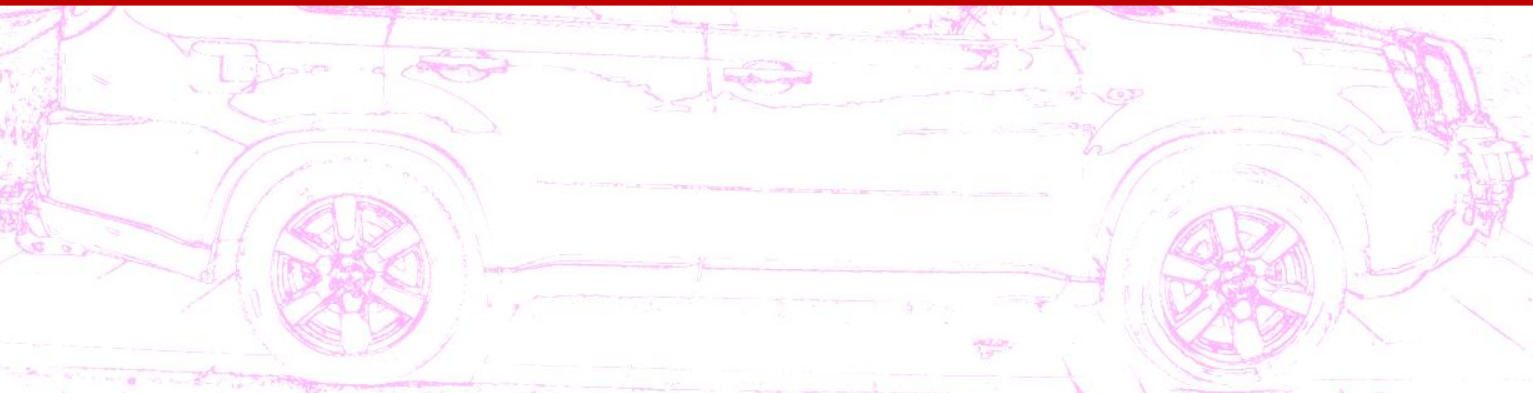


从遥控或半自主  完全自主



从遥控或半自主 → 完全自主

从实验环境 → 比赛环境 → 真实环境



从遥控或半自主  完全自主

从实验环境  比赛环境  真实环境

理论方法+关键技术+工程+试验

Q & A

谢谢!

