



车辆行驶环境动态感知方案 (建议稿)

武汉大学 2008年10月





提 纲

一、参考设计

二、传感器选型

三、我们的方案





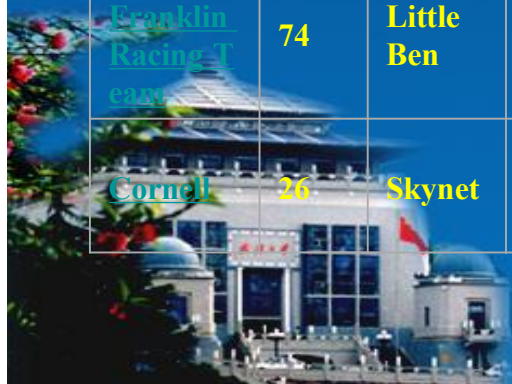
一、参考设计





2007年名次

Team Name	ID#	Vehicle	Type	Location	Time Taken (h:m:s)	Result
Tartan Racing	19	Boss	2007 Chevy Tahoe	Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania	4:10:20	1st Place; averaged approximately 14 mph (22.5 km/h) throughout the course ^{[4][5]}
Stanford Racing	03	Junior	2006 Volkswagen Passat Wagon	Stanford University, Palo Alto, California	4:29:28	2nd Place; averaged about 13.7 mph (22.05 km/h) throughout the course ^[6]
VictorTango	32 ^[7]	Odin	2005 Ford Hybrid Escape	Virginia Tech, Blacksburg, Virginia	4:36:38	3rd Place; averaged slightly less than 13 mph (20.92 km/h) throughout the course ^[4]
MIT	79	Talos	Land Rover LR3	MIT, Cambridge, Massachusetts	Approx. 6 hours	4th Place. ^[8]
The Ben Franklin Racing Team	74	Little Ben	2006 Toyota Prius	University of Pennsylvania, Lehigh University, Philadelphia, Pennsylvania	No official time.	One of 6 teams to finish course
Cornell	26	Skynet	2007 Chevy Tahoe	Cornell University, Ithaca, New York	No official time.	One of 6 teams to finish course





CMU的Boss





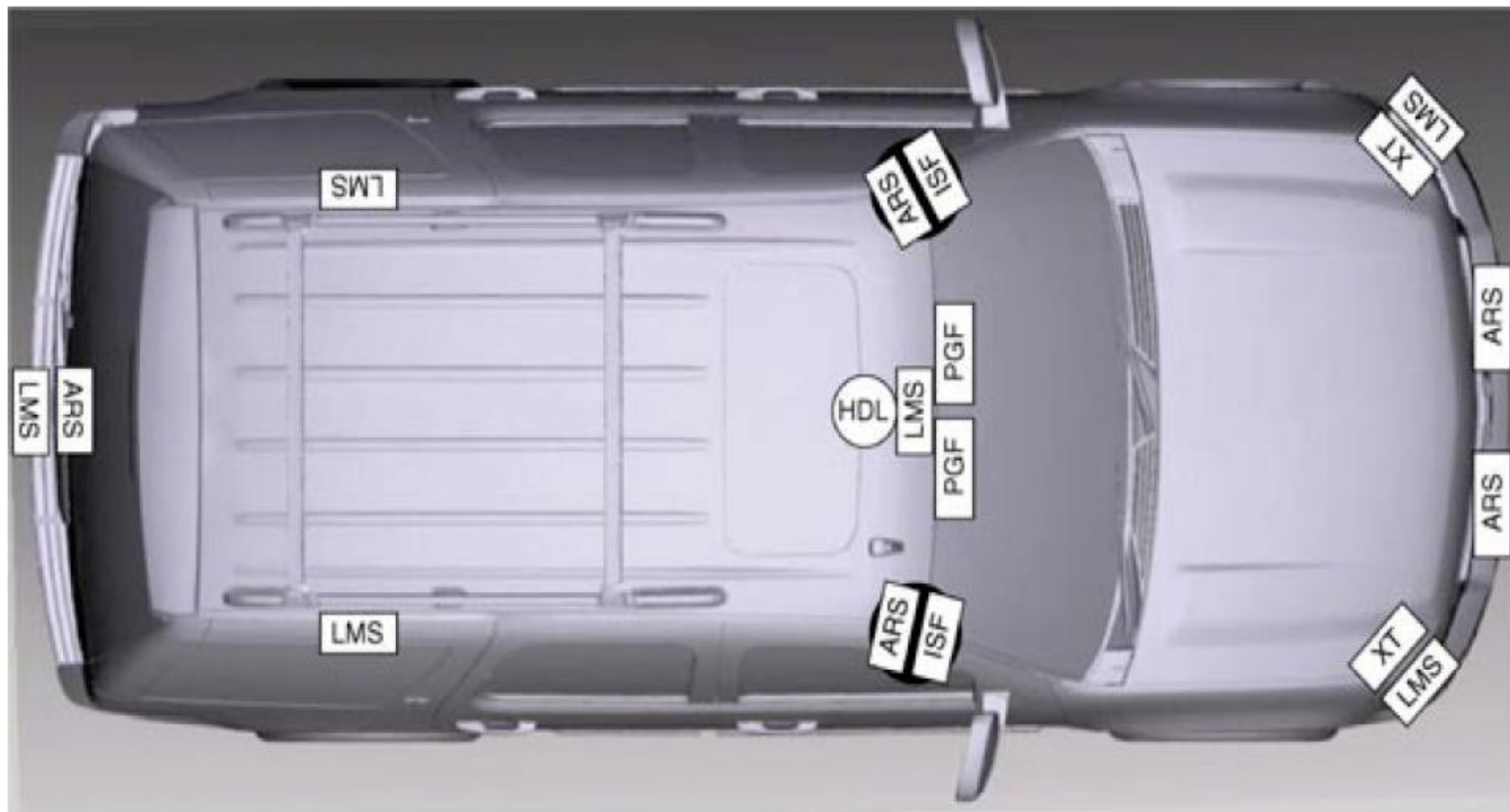
主要配置

- Long Range Radar: 5 Continental ARS300
- Short Range Lidar: 8 SICK LMS-291
- Mid Range Lidar: Velodyne HDL-64
- Long Range Lidar: 2 steered Continental ISF 172 and 2 IBEO ALASCA XT
- Pose Estimation: Applanix mPOS-LV with dual antenna GPS and IMU
- Computing: 10 Intel Core2Duo blades @ 2.16 GHz in a compact PCI chassis
- Software Architecture: Decentralized, multi-process system coordinated via gigabit Ethernet communications layer
- Planning: Motion planning evaluates over 1000 candidate trajectories per-second
- Perception: Multi-sensor fusion generates moving and static obstacle models
- Behavioral: Context-centric reasoning makes tactical decisions



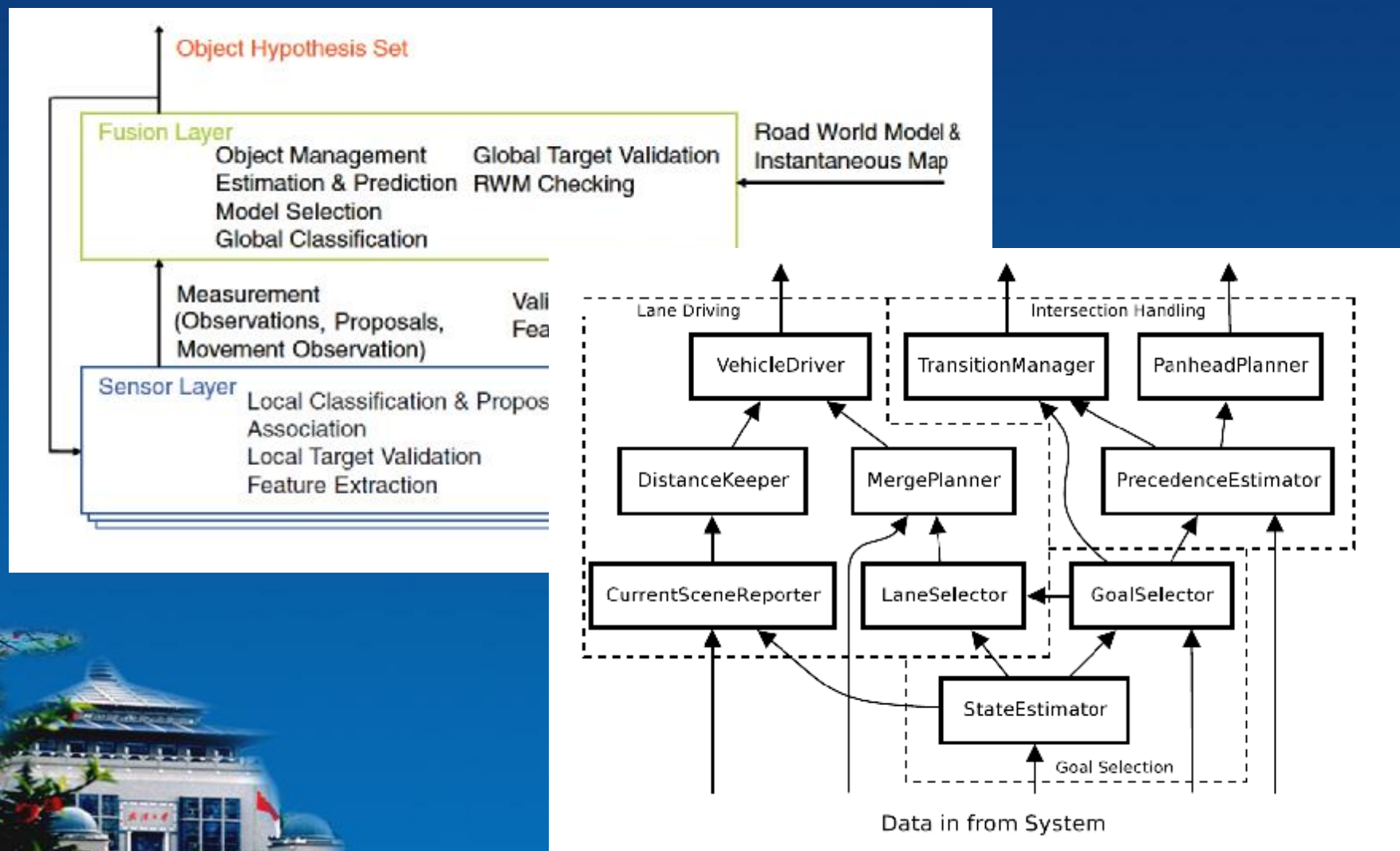


安装位置





软件构架





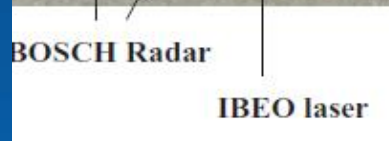
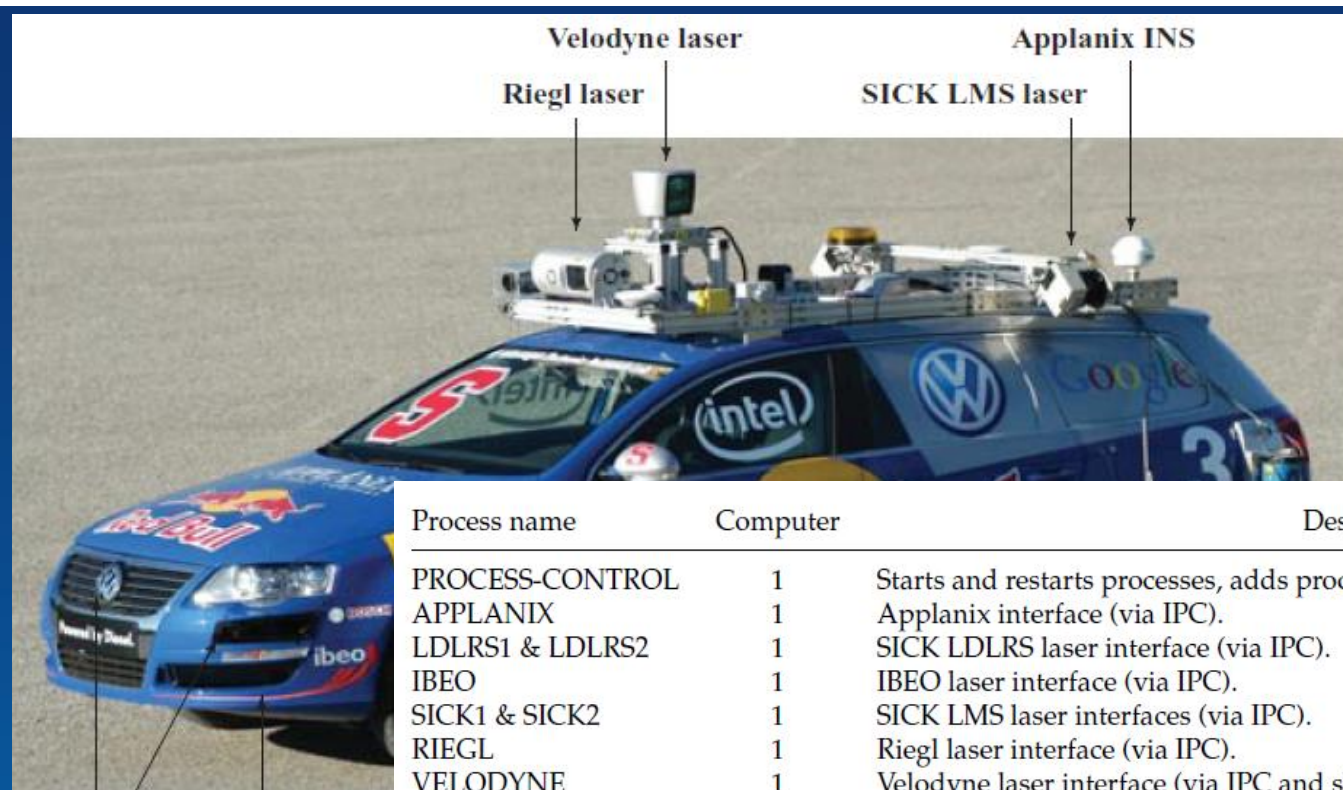
仿真调试软件





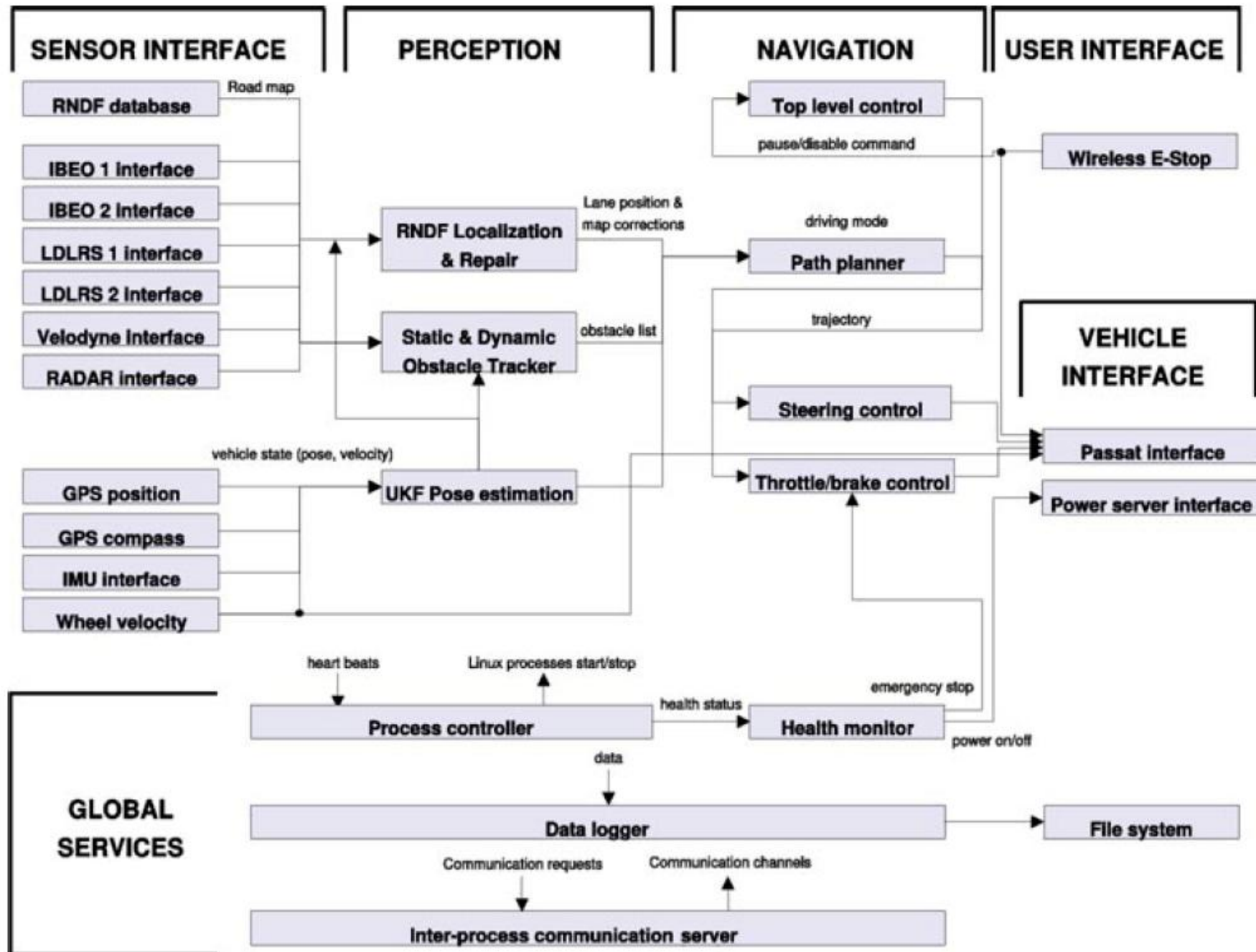
Stanford的Junior





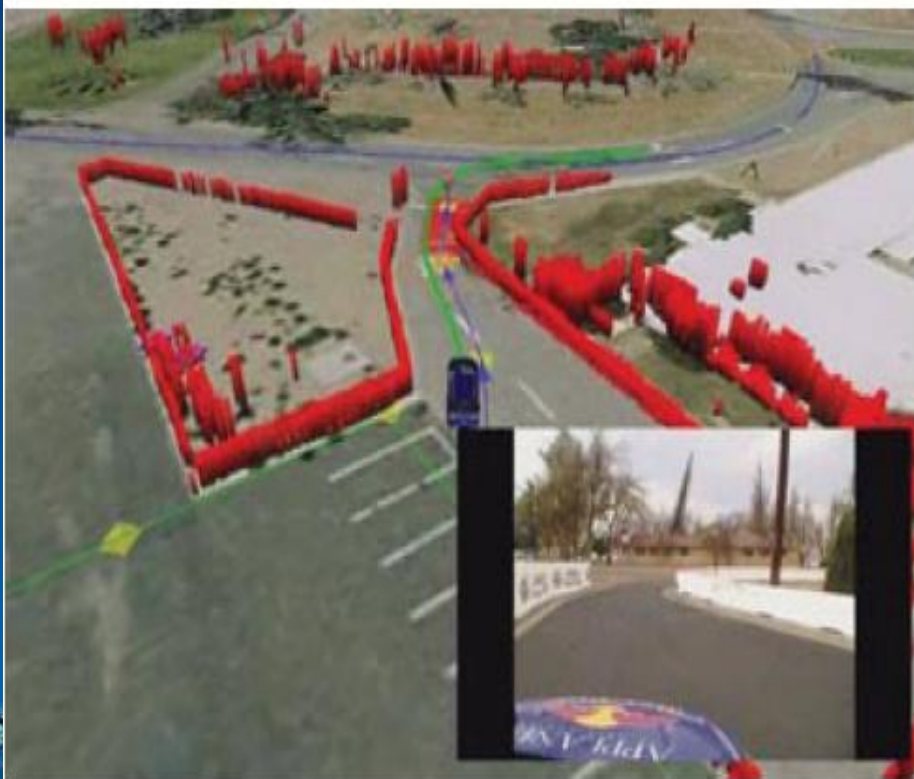
Process name	Computer	Description
PROCESS-CONTROL	1	Starts and restarts processes, adds process control via IPC
APPLANIX	1	Applanix interface (via IPC).
LDLRS1 & LDLRS2	1	SICK LDLRS laser interface (via IPC).
IBEO	1	IBEO laser interface (via IPC).
SICK1 & SICK2	1	SICK LMS laser interfaces (via IPC).
RIEGL	1	Riegl laser interface (via IPC).
VELODYNE	1	Velodyne laser interface (via IPC and shared memory). This module also projects the 3-D points using Applanix pose information.
CAN	1	CAN bus interface
RADAR1-RADAR5	1	Radar interfaces (via IPC).
PERCEPTION	1	IPC/Shared Memory interface of Velodyne data, obstacle detection, dynamic tracking and scan differencing
RNDF_LOCALIZE	1	1D localization using RNDF
HEALTHMON	1	Logs computer health information (temperature, processes, CPU and memory usage)
PROCESS-CONTROL	2	Start/restarts processes and adds process control over IPC
CENTRAL	2	IPC server
PARAM.SERVER	2	Central server for all parameters
ESTOP	2	IPC/serial interface to DARPA E-stop
HEALTHMON	2	Monitors the health of all modules
POWER	2	IPC/serial interface to power-server (relay card)
PASSAT	2	IPC/serial interface to vehicle interface board
CONTROLLER	2	Vehicle motion controller
PLANNER	2	Path planner and hybrid A* planner



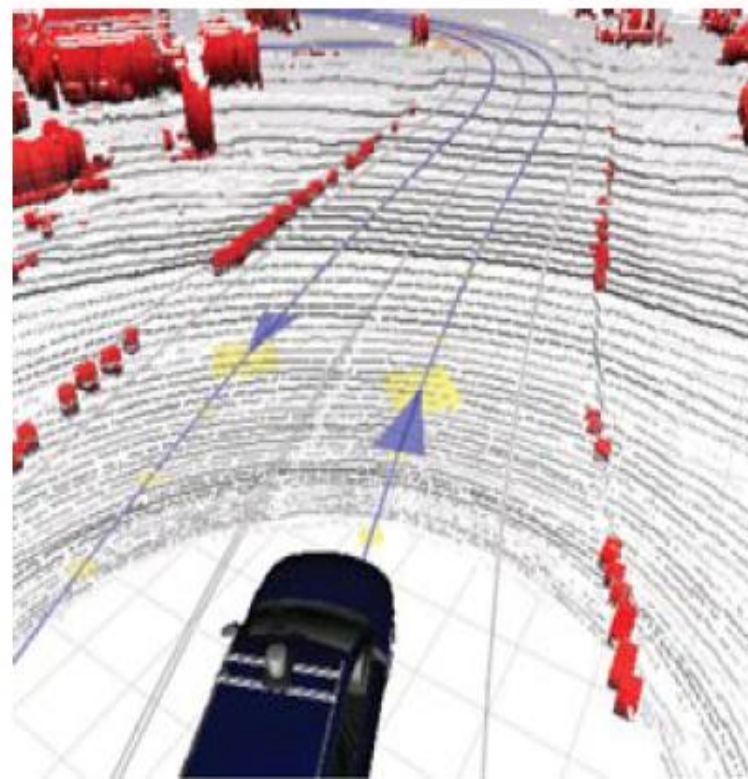




障碍物检测



(a)



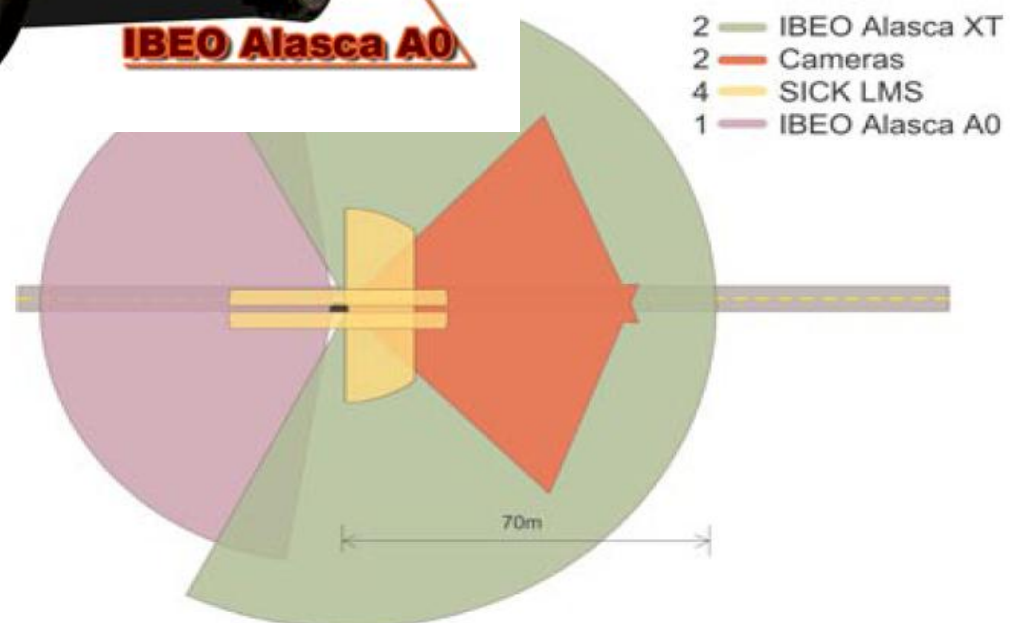
(b)

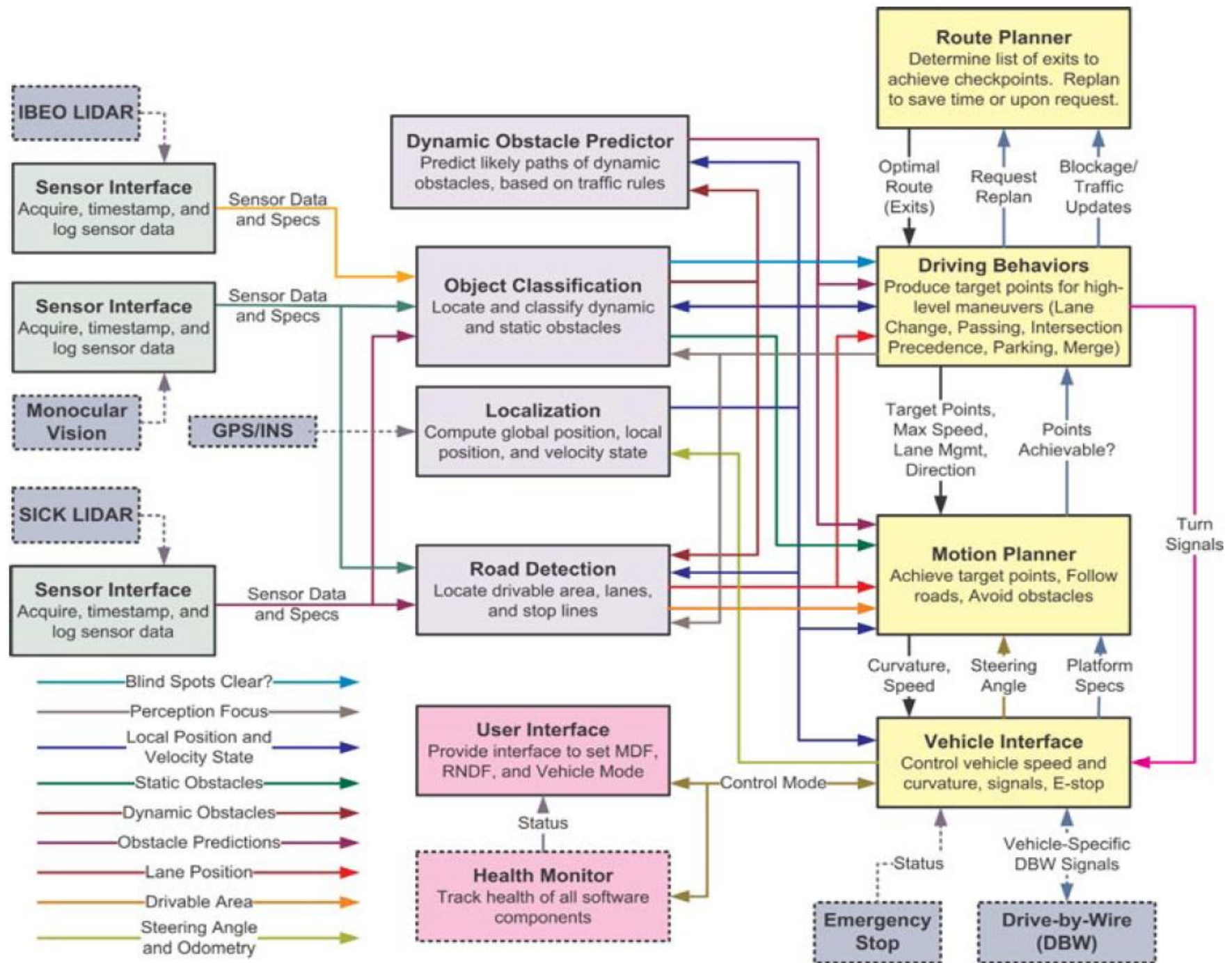




Virginia的Odin

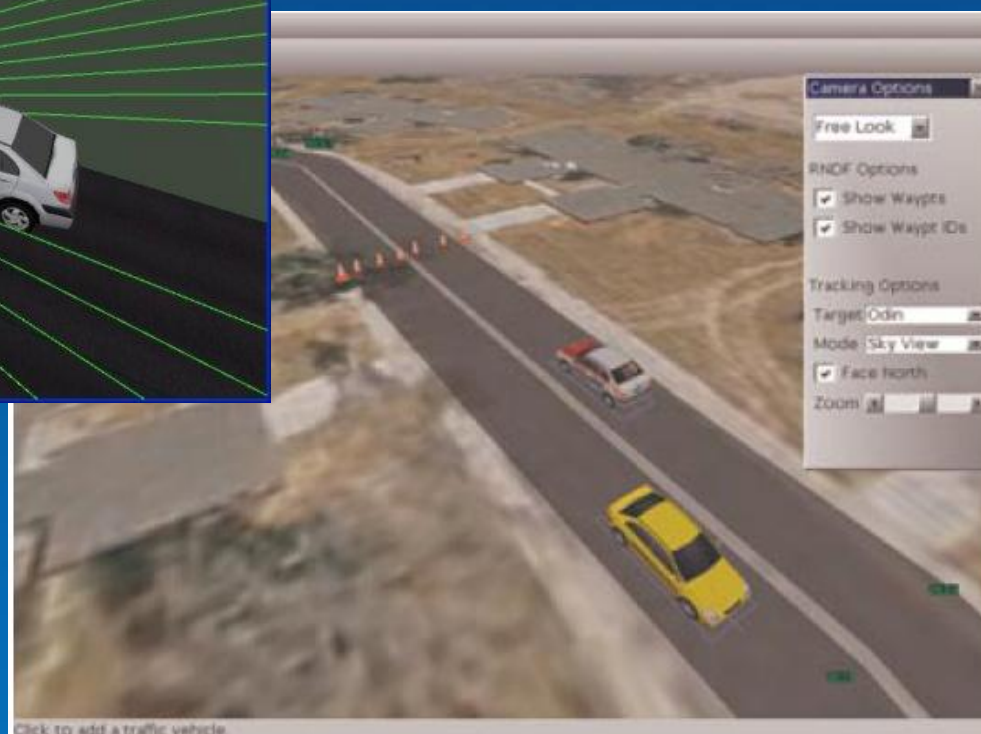
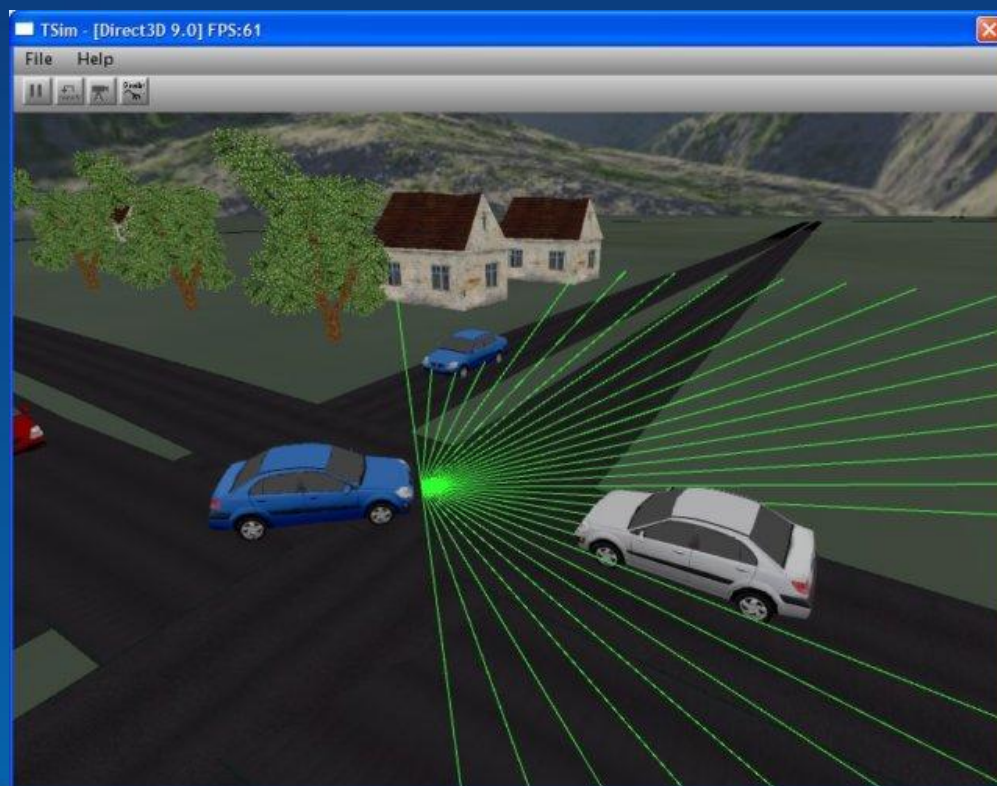








调试仿真软件





MIT的Talos





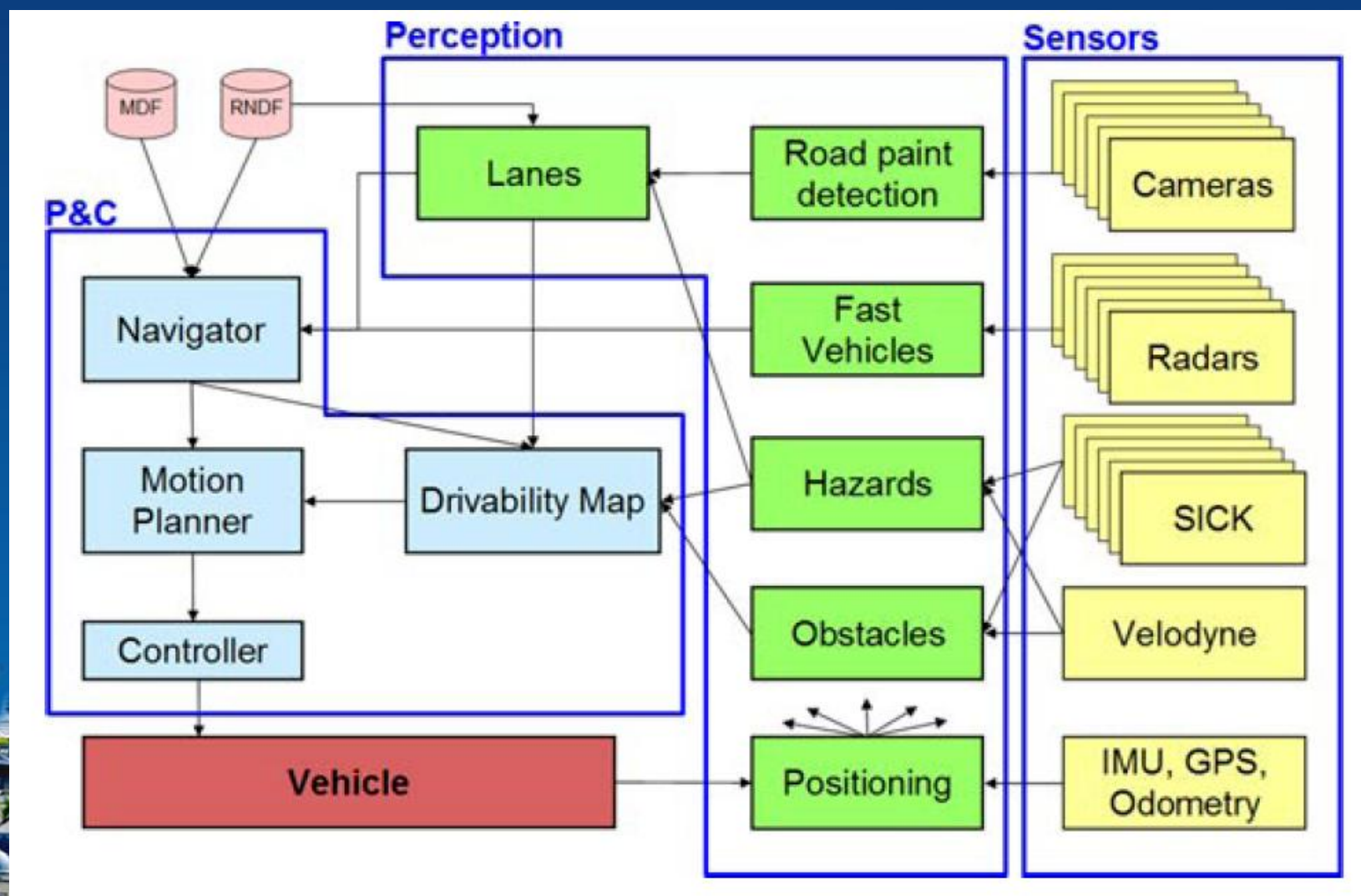
硬件配置

- Electronic Mobility Controls (EMC) drive-bywire system (AEVIT)
- Honda EVD6010 internal power generator
- 2 Acumentrics uninterruptible power supplies
- Quanta blade server computer system (the unbranded equivalent of Fujitsu Primergy BX600)
- Applanix POS-LV 220 GPS/INS
- Velodyne HDL-64 LIDAR
- 12 SICK LIDARs
- 5 Point Grey Firefly MV cameras
- 15 Delphi radars



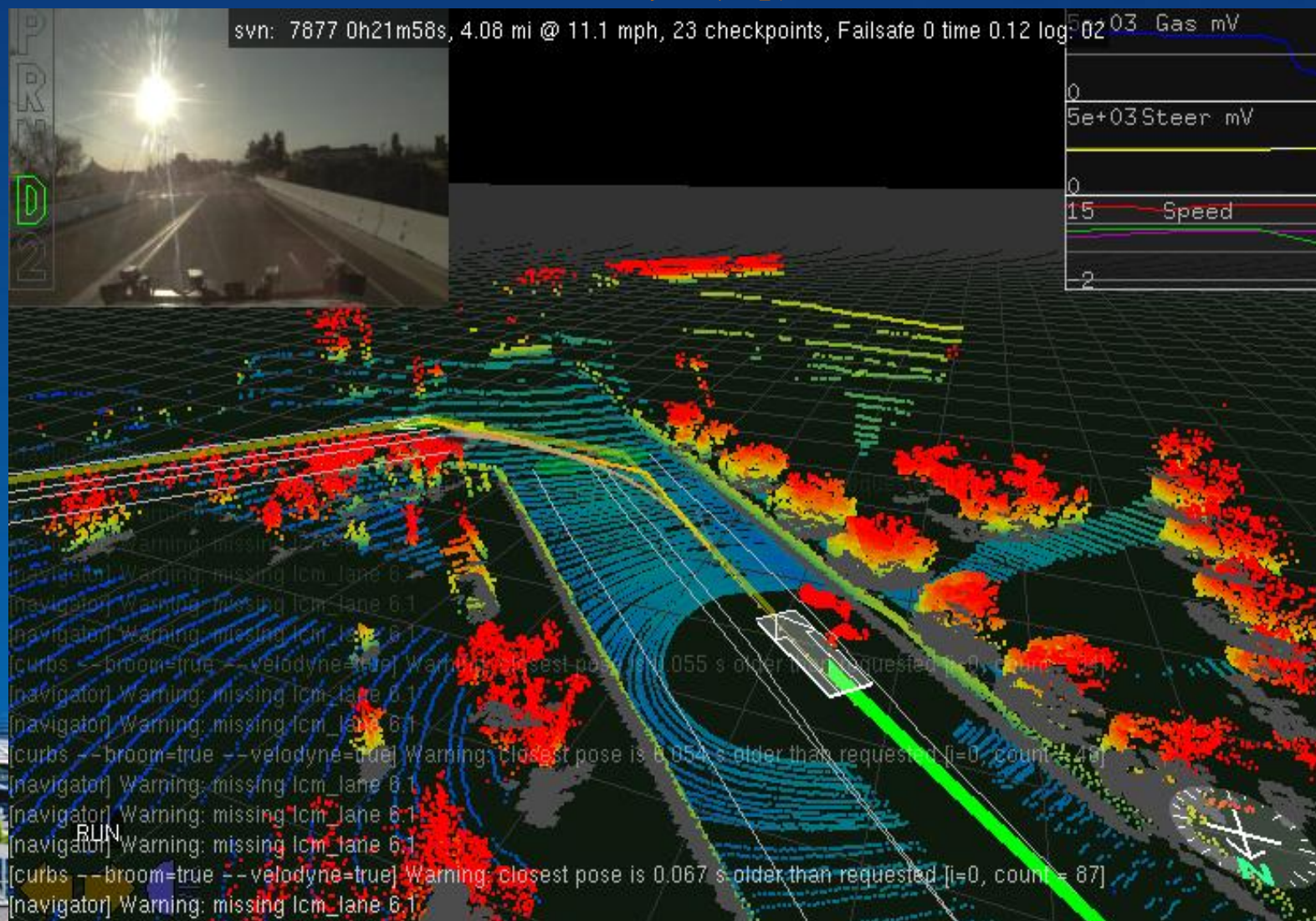


软件构架





调试仿真软件



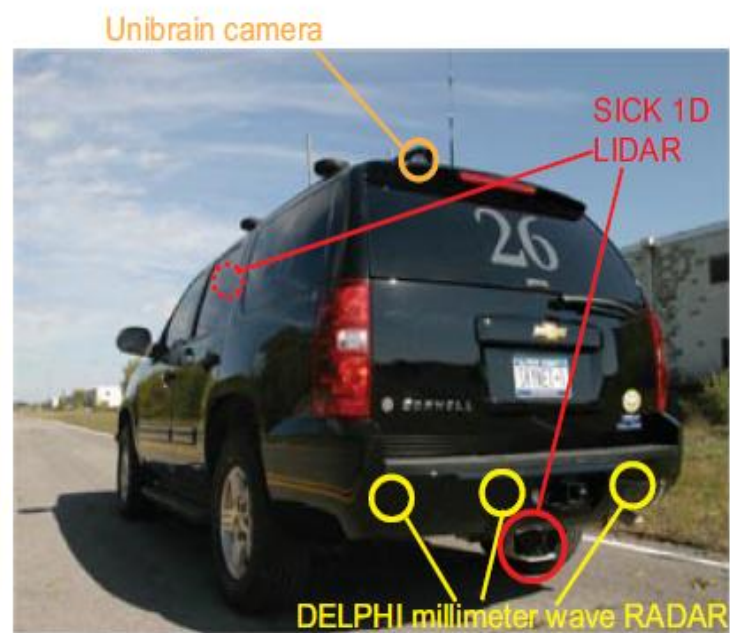
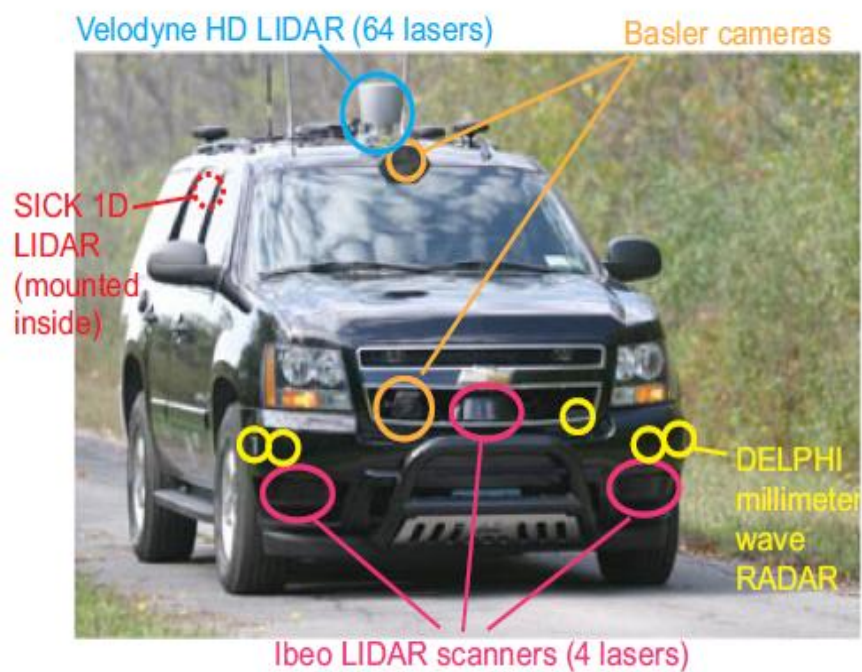


Cornell's Skynet





传感器





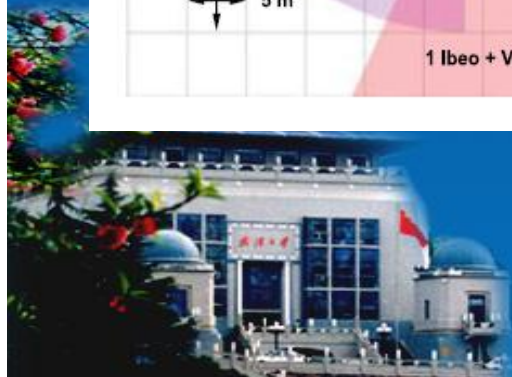
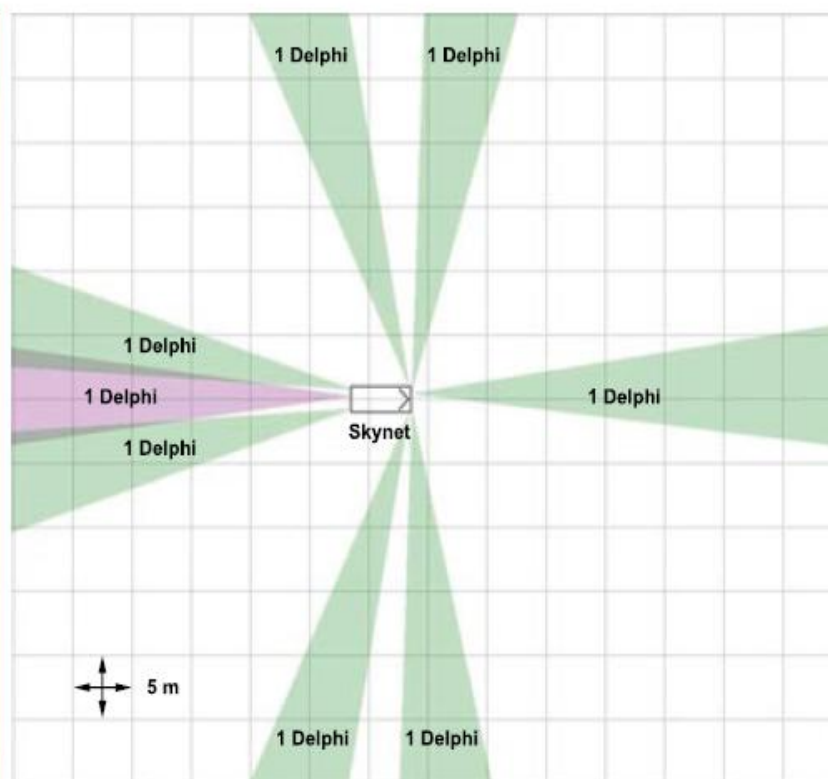
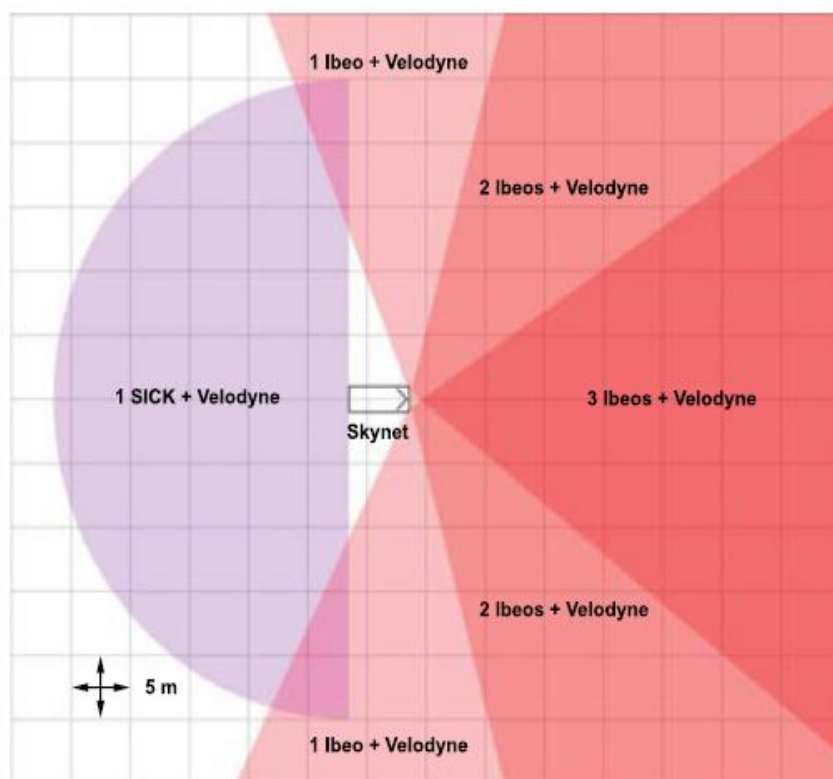
传感器列表

Sensor	Location	Type	Rate, Hz	Field of view, deg	Resolution
Ibeo ALASCA XT	Front bumper left	Laser	12.5	150	1 deg
	Front bumper center	Laser	12.5	150	1 deg
	Front bumper right	Laser	12.5	150	1 deg
SICK LMS-291	Left back door	Laser	75	90	0.5 deg
	Right back door	Laser	75	90	0.5 deg
SICK LMS-220	Back bumper center	Laser	37.5	180	1 deg
Velodyne HDL-64E	Roof center	Laser	15	360	0.7 deg
Delphi FLR	Front bumper left (2×)	Radar	10	15	20 tracks
	Front bumper center	Radar	10	15	20 tracks
	Front bumper right (2×)	Radar	10	15	20 tracks
	Back bumper left	Radar	10	15	20 tracks
	Back bumper center	Radar	10	15	20 tracks
	Back bumper right	Radar	10	15	20 tracks
Unibrain Fire-i 520b	Back roof center	Optical	15	20–30	N/A



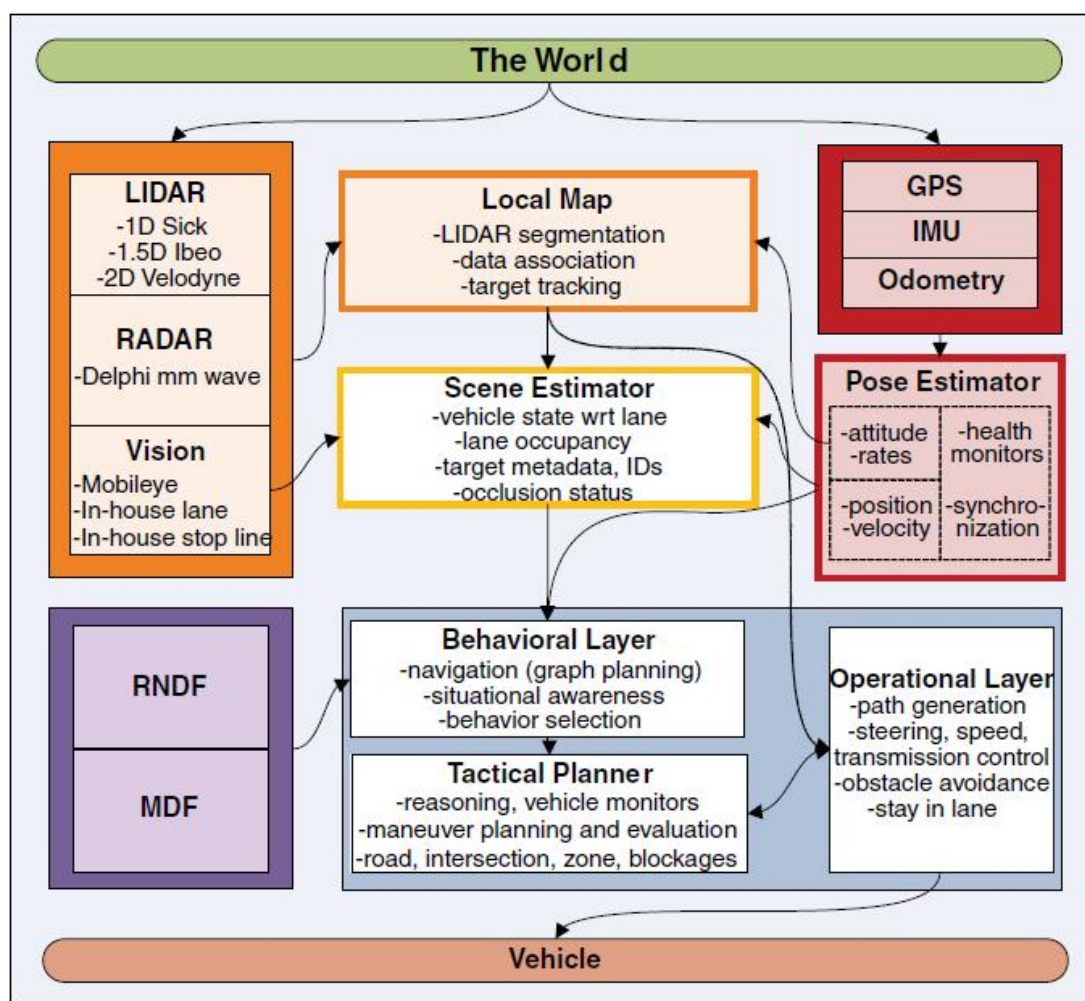


探测范围



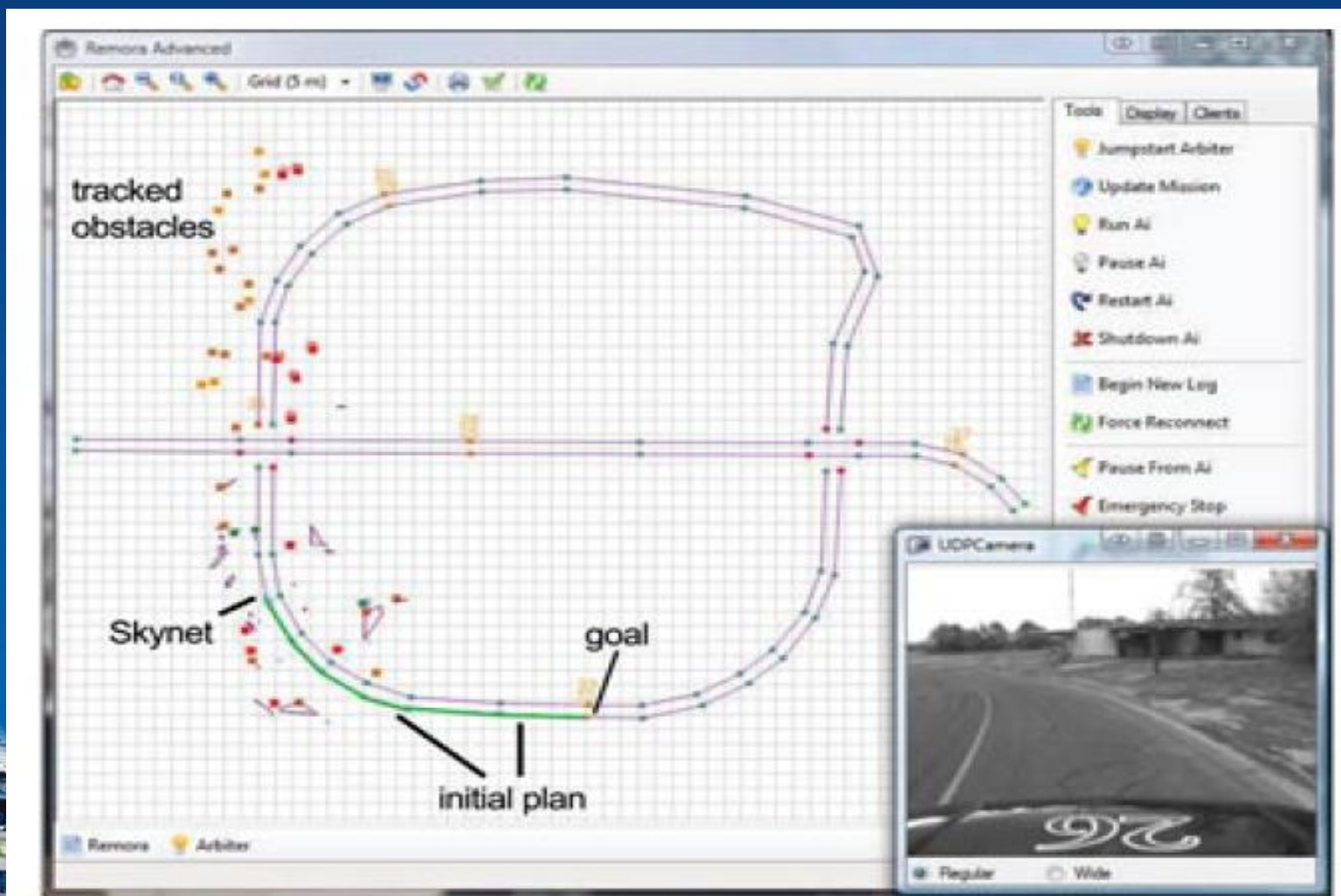


软件构架





仿真调试软件





二、传感器选型





HDL-64E

- 64 lasers/detectors
- 360 degree field of view (azimuth)
- 0.09 degree angular resolution (azimuth)
- 26.8 degree vertical field of view (elevation) - +2° up to -24.8° down with 64 equally spaced angular subdivisions (approximately 0.4°)
- <2 cm distance accuracy
- 5-15 Hz field of view update (user selectable)
- 50 meter range for pavement (~0.10 reflectivity)
- 120 meter range for cars and foliage (~0.80 reflectivity)
- >1.333 M points per second
- <0.05 milliseconds latency





LMS-Q120i



- *Maximum range 150 m @ only 10 % target*
- *Ranging accuracy 20 mm*
- *Data rate up to 10 000 meas. / sec*
- *Scanning rate up to 100 scans / sec*
- *Scanning range 80°*
- *Perfectly linear scan*
- *Rugged IP64 housing*
- *Integrated TCP/IP Ethernet interface*





Delphi ACC3 Radar



	ACC3
Description	77GHz MMW radar
Range	150m
Field of view	15deg.
Beam size	2.1x4.5 deg
Update Rate	100ms
Track files	20
Max Range rate	+/- 64m/s
Technology	Mechanically Scanned
Waveform	FMCW





IBEO laser ALASCA XT



ALASCA XT

Technical data:

- Scan frequency: 12.5 Hz or 25 Hz
- Wide horizontal angle: 240° field of view
- Range: 0.3 m to 200 m
- Resolution: range 4 cm, angle 0.1° to 1°
- Eye-safe: laser class 1
- Full automatic pitch compensation:
 - 4 layer in parallel and simultaneous scanning
 - Vertical field of view of 3.2°
- Weather performance:
 - Multi Echo Technology (up to 4 echos per laser shot)
 - Multi Target Technology (up to 4 targets per laser shot)





Bosch Radar



Long-Range Radar LRR3

Bosch is already manufacturing the third generation of its Long-Range Radar (LRR3). It is the heart of predictive systems such as the automatic distance and speed control ACC (Adaptive Cruise Control) and the Emergency Braking Assist. With a monitoring range of 250 m and an opening angle of 30° the LRR3 represents a significant increase in performance, compared to earlier generations. At the same time it is more favorably priced thanks to innovative materials and technology. The robust sensor can even stand up to the extreme loadings





SICK laser



LMS 221 Outdoor



LMS 291 Outdoor

LMS 221 OD

80 m/30 m

max. 180°

0.25°/0.5°/1° adjustable

53 ms / 26 ms / 13 ms

10 mm/typ. ± 35 mm

RS 232 / RS 422

3 x PNP; typ. 24 V DC

1 (eye-safe)

-30...+50 °C

IP 67

352 x 266 x 229 mm³

LMS 291 OD

80 m/30 m

max. 180°

0.25°/0.5°/1° adjustable

53 ms / 26 ms / 13 ms

10 mm/typ. ± 35 mm

RS 232 / RS 422

3 x PNP; typ. 24 V DC

1 (eye-safe)

0...+50 °C

IP 65

155 x 210 x 156 mm³





Applanix



PERFORMANCE SUMMARY - GPS Outage (1 km or one minute)

POS LV	200 PP	200 IARTK	200 DGPS	220 PP	220 IARTK	220 DGPS
X,Y Position (m)	0.320	1.270	2.510	0.240	0.690	0.880
Z Position (m)	0.130	0.350	0.610	0.130	0.350	0.610
Roll and Pitch (°)	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
True Heading (°)	0.060	0.100	0.200	0.030	0.070	0.070





三、我们的方案



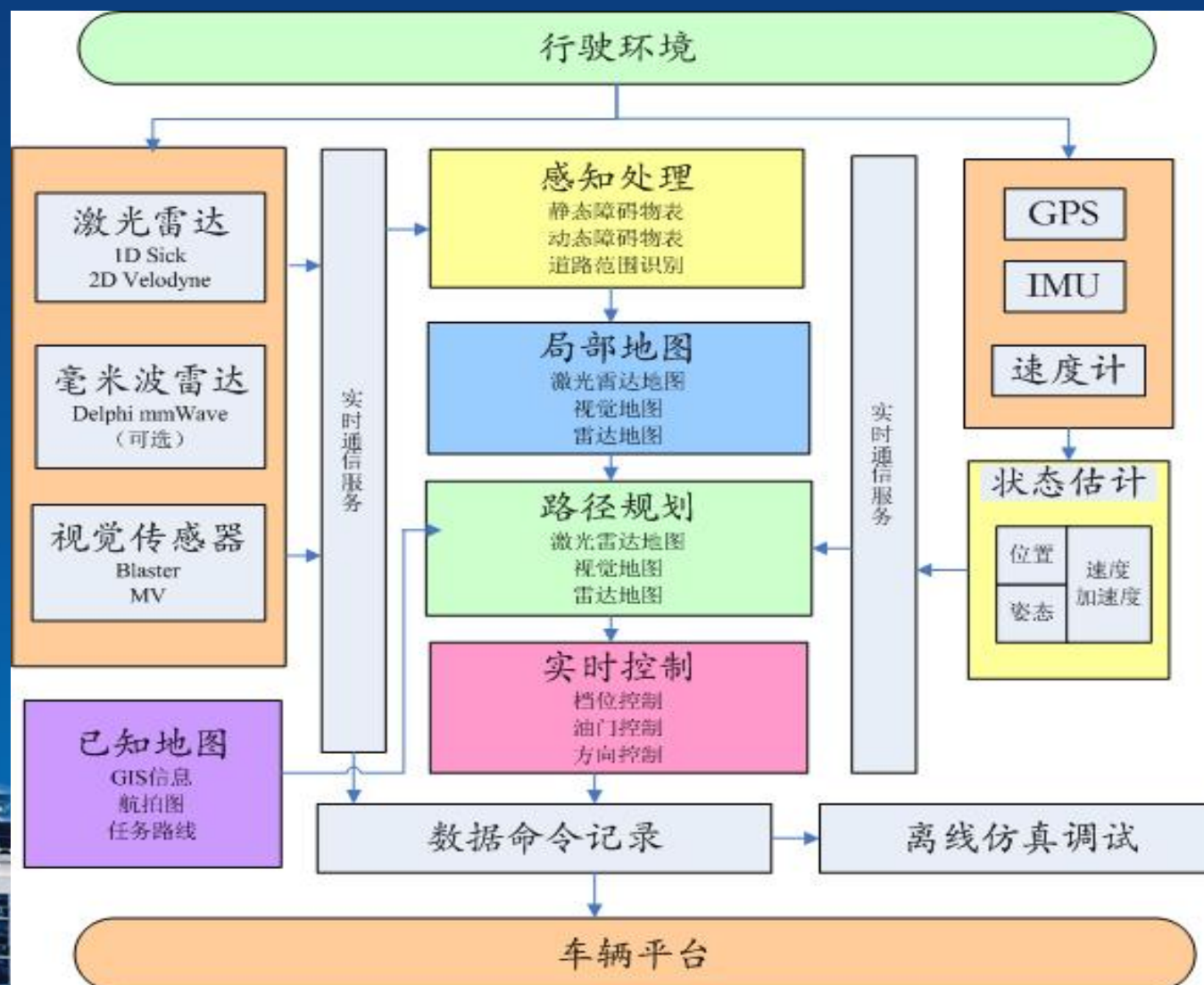


瑞虎





系统架构





模块定义

■ 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、雷达获取100m以内的高速运动物体的信息；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。





接口定义

■ 外部传感器与感知处理子系统接口：

- 激光雷达、毫米波雷达、视觉相机）通过千兆网络、或者1394、串口到以太网口的转换器，实现采集环境信息的实时传输到感知处理模块。同时通过数据命令记录子系统进行录像，所有传感器数据通过时间戳进行同步。

■ 感知处理子系统与局部地图子系统接口：

- 通过实时更新静态障碍物表、动态障碍物表、道路可行驶范围数据与局部地图构架系统实现信息单向传输。

■ 局部地图子系统与路径规划子系统接口：

- 通过产生的激光雷达信息局部地图、视觉局部地图、雷达局部地图提供局部路径规划子系统所需要的信息。

■ 已知地图子系统与路径规划子系统接口：

- 通过GIS的矢量文件形式提供给路径规划子系统相关的道路环境信息及任务路线。





■ 姿态传感器与车辆状态估计子系统接口:

- 通过串口获得GPS/INS/速度等定位信息。

■ 状态估计子系统与路径规划子系统接口:

- 提供车辆的三维位置信息: 经度、纬度、高程 (longitude, latitude, altitude)、姿态信息: 方向角、俯仰角、旋转角 (roll, pitch, yaw), 速度信息: 瞬时速度、加速信息 (velocity accelerometer biases)。

■ 路径规划与实时控制子系统接口:

- 通过规划出的行驶路线、最高限速, 产生行驶命令包括换档命令、油门命令、转向命令等。

■ 数据命令录像子系统:

- 负责记录所有的感知数据、各子系统间中间交换信息、各子系统间的控制命令。

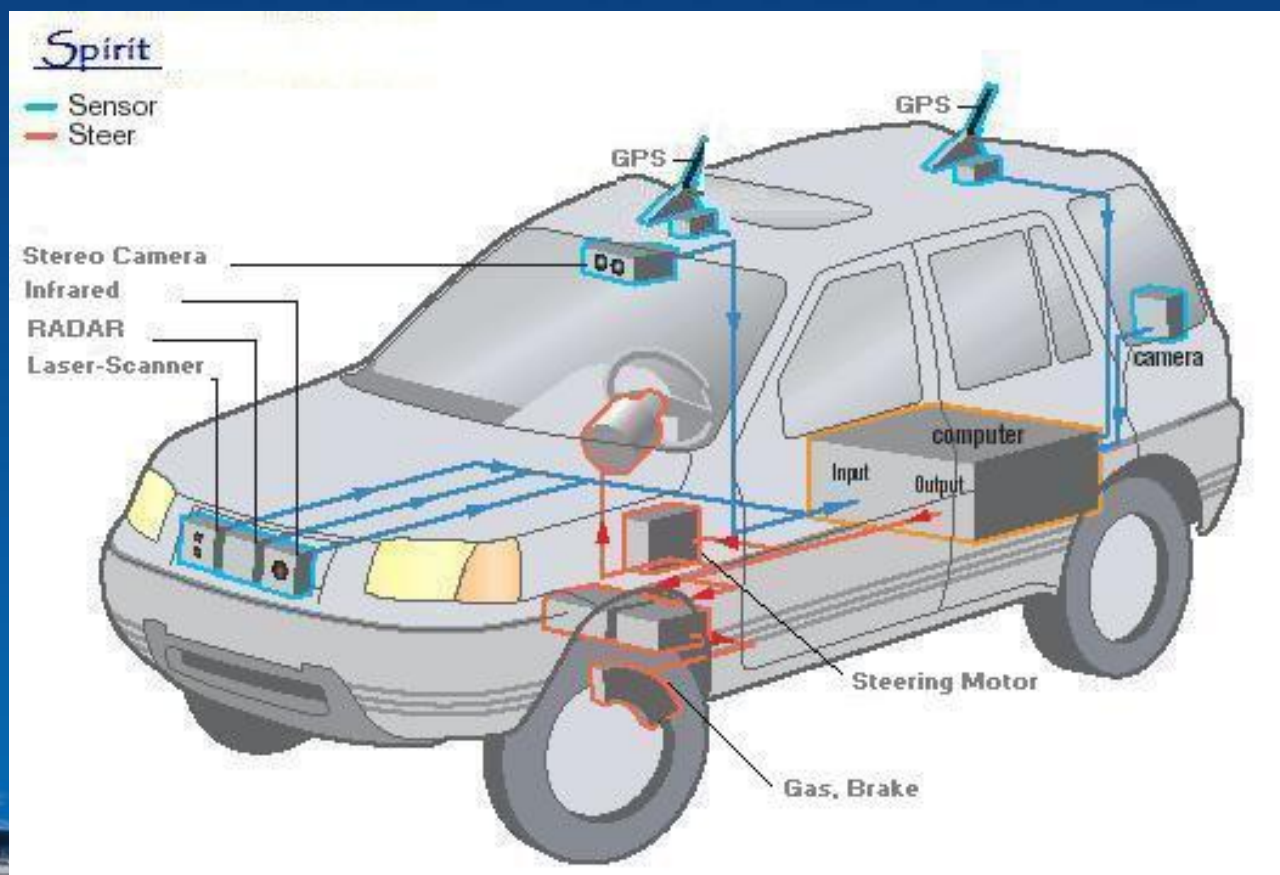
■ 离线仿真调试子系统:

- 根据录像子系统产生的录像信息, 重现整个系统的感知、处理、运行过程, 实现离线的仿真调试。提供直观的数据分析工具。





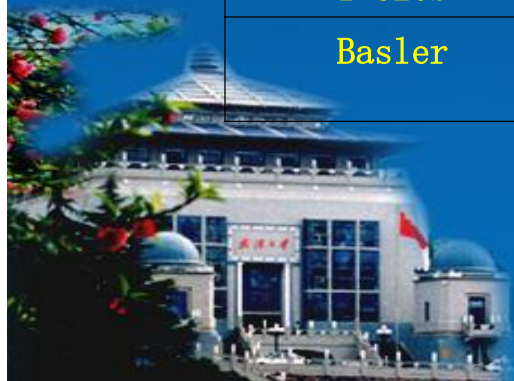
定位定姿系统





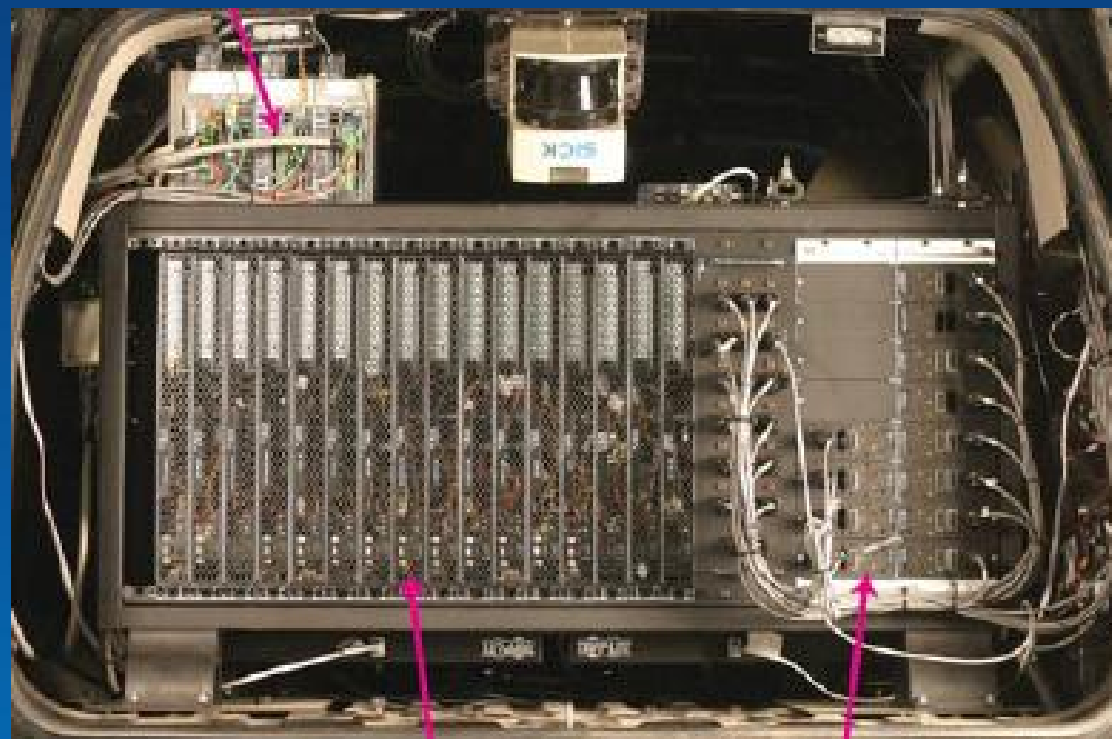
传感器

传感器	安装位置	类型	速率 (Hz)	覆盖角度	分辨率
IBeo ALASCAXT	前方	激光雷达	12.5	150	1deg
SICK LMS-291	左右前方	激光雷达	75	90	0.5deg
SICK LMS-220	中间	激光雷达	37.5	180	1deg
Velodyne HDL-64E	车顶中央	激光雷达	15	360	0.7deg
Delphi FLR	前保险杠	雷达	10	15	20tracks
UnibrainFire-i 520b	前方中间	图像	15	20~30	
Basler	前方下端	图像	15	20~30	





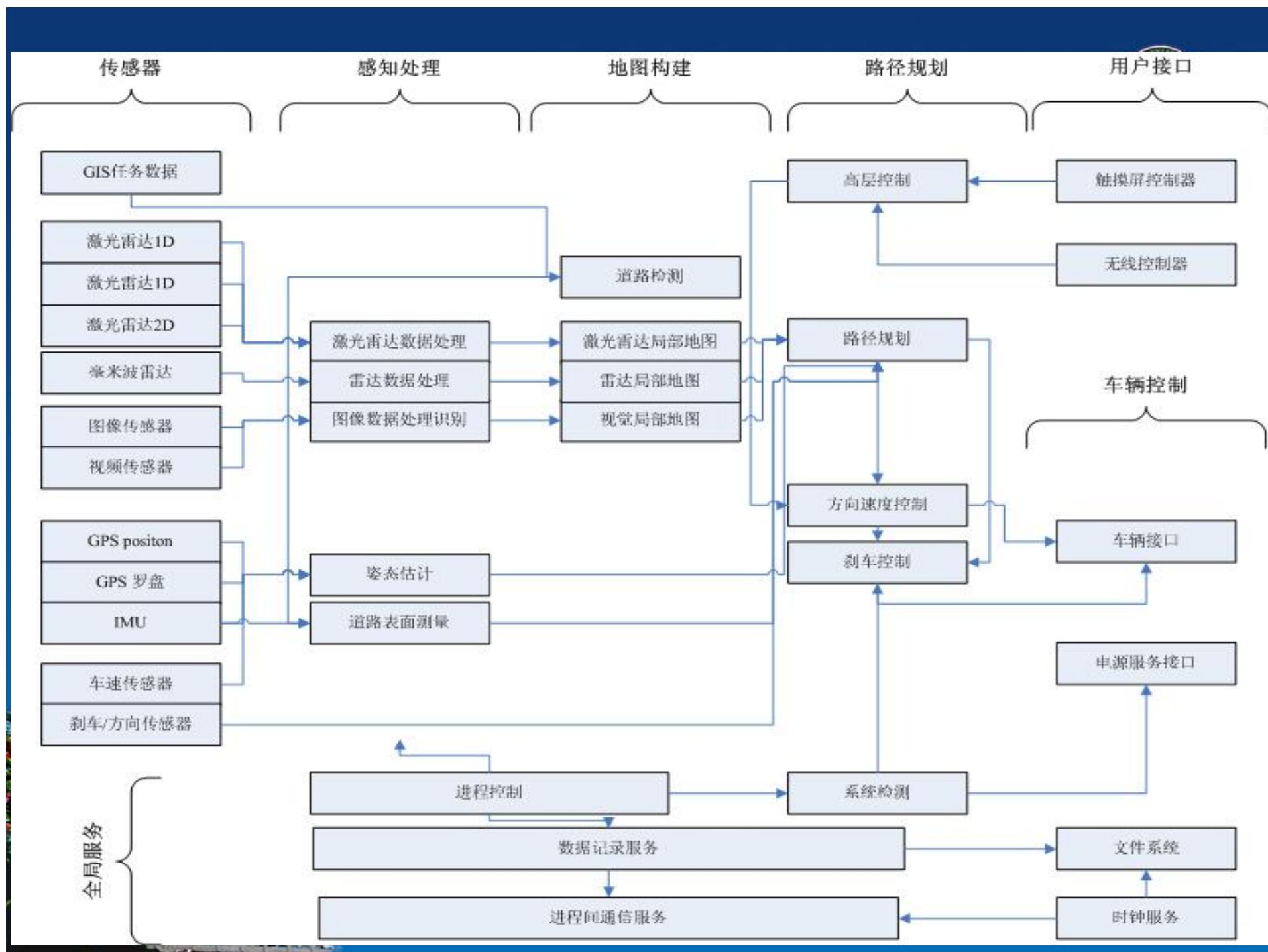
计算机系统





电源系统

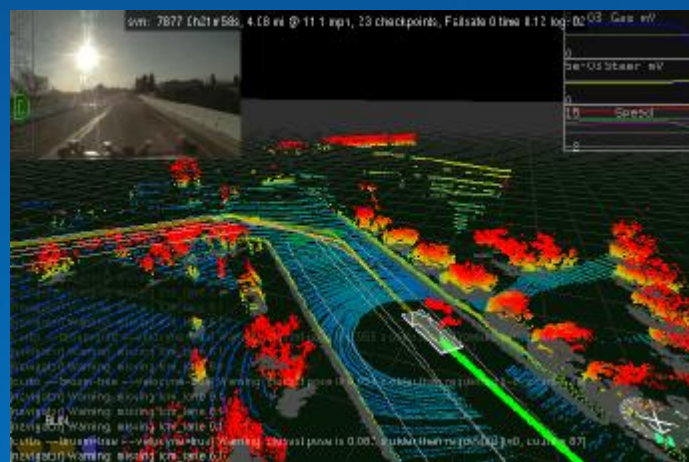
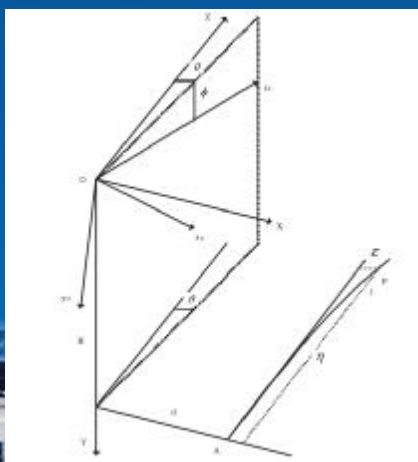






共用部分

- 建立车辆坐标系
- 建立统一的时钟服务
- 实现基于千兆网的进程间通信服务
- 建立数据命令的录像系统
- 离线仿真调试环境



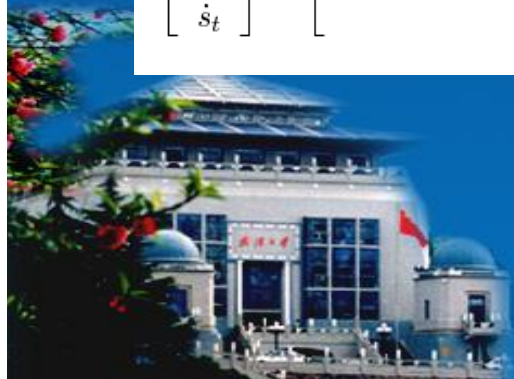
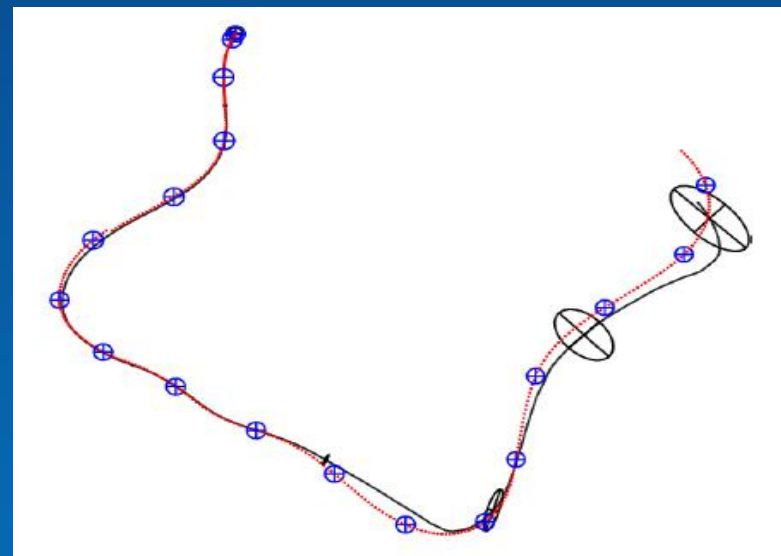


感知部分

■ 姿态估计部分

- 建立车辆运动姿态的模型，利用GPS/INS/ODO信息，通过Unscented Kalman滤波跟踪车辆姿态、位置。

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ \theta_t \\ s_t \\ \dot{\theta}_t \\ \dot{s}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{t-1} + \Delta t(s_{t-1} + \Delta t \cdot \dot{s}_{t-1}) \sin \theta_{t-1} \\ y_{t-1} + \Delta t(s_{t-1} + \Delta t \cdot \dot{s}_{t-1}) \cos \theta_{t-1} \\ \theta_{t-1} \\ s_{t-1} + \Delta t \cdot \dot{s}_{t-1} \\ 0 \\ \dot{s}_{t-1} \end{bmatrix} + \mathbf{w}_t$$

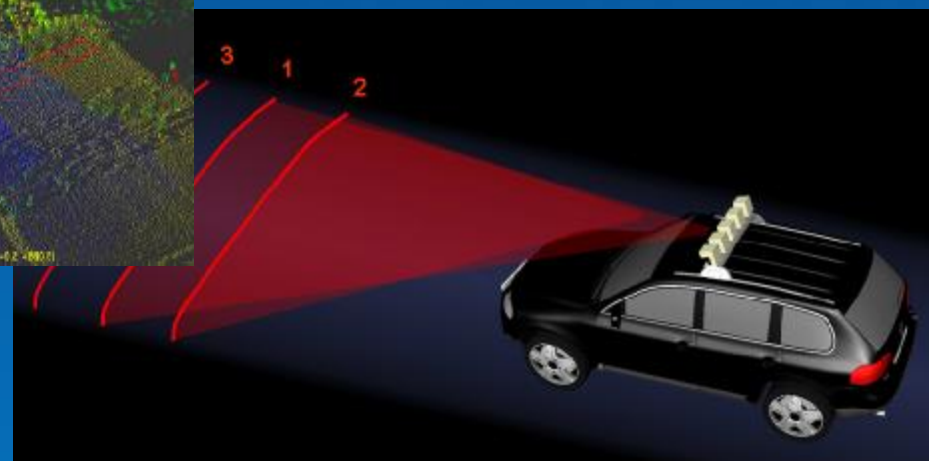
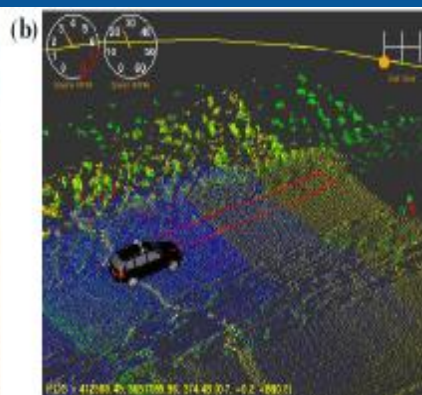




感知部分

■ 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。

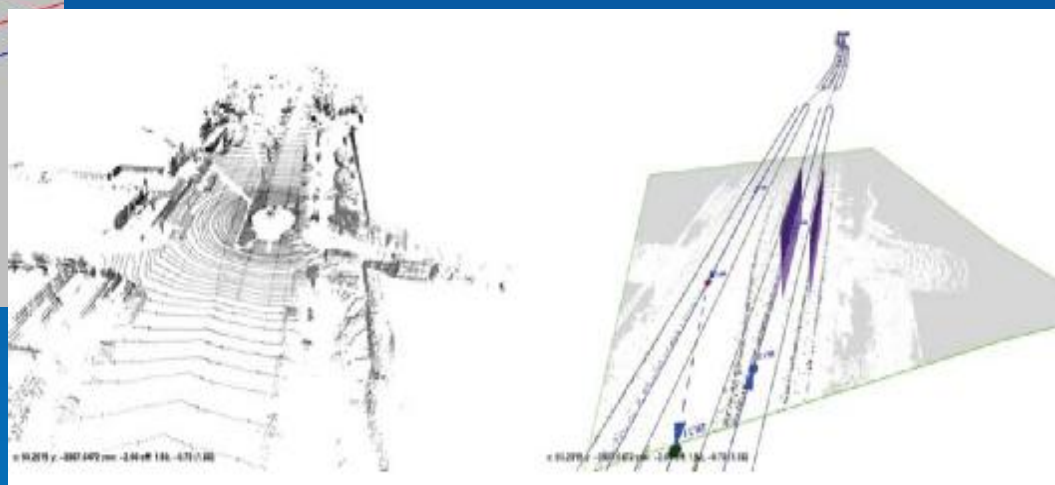
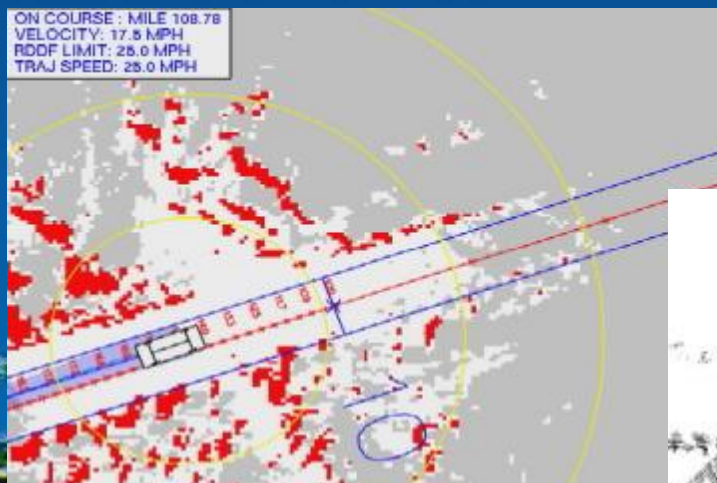




感知部分

■ 激光雷达数据处理

- 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。

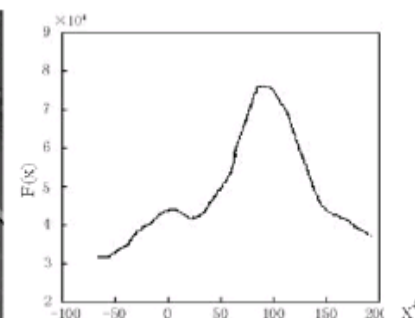
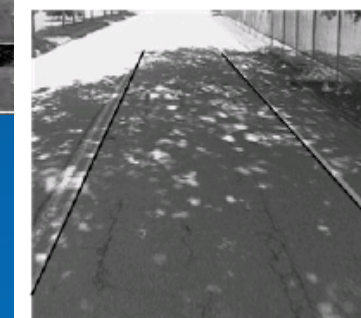
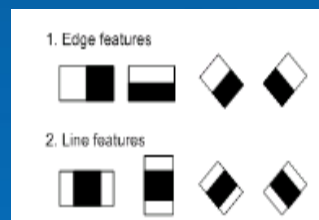
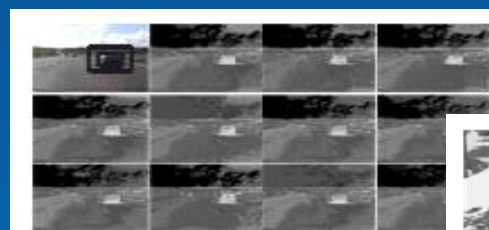
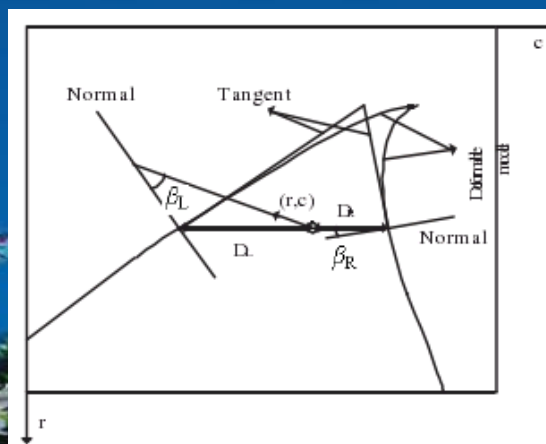




感知部分

■ 视觉识别分析

- 识别分析范围主要针对20m~50m内的道路情况，首先对于高速公路，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。
- 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。
- 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。





感知部分

■ 视觉识别分析

- 车道跟踪以CCD获取的道路场景图像序列作为原始输入数据，通过图像处理算法提取道路图像特征作为测量数据，以粒子滤波器对道路模型参数进行迭代估计。
- 对于越野道路环境，可以采取stanly的算法，以激光雷达数据探测出的局部道路作为在线样本，进行特征提取和模式识别分析分析更远距离的道路。
- 障碍物检测：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））。

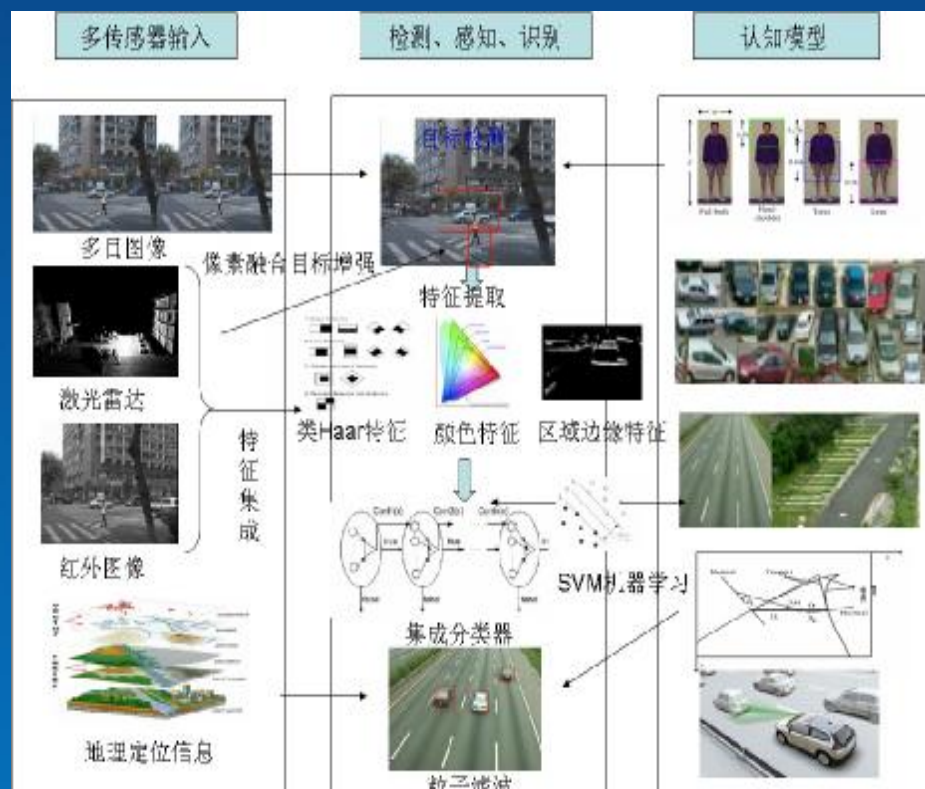




感知部分

■ 视觉识别分析

- 利用已有的行人、车辆、道路的样本库及知识模型，找到障碍物目标，提取得到目标的纹理特征、尺寸特征、空间位置，通过融合GIS和GPS信息进行目标动态跟踪得到目标的运动参数，融合其他传感器提供的属性信息确认，

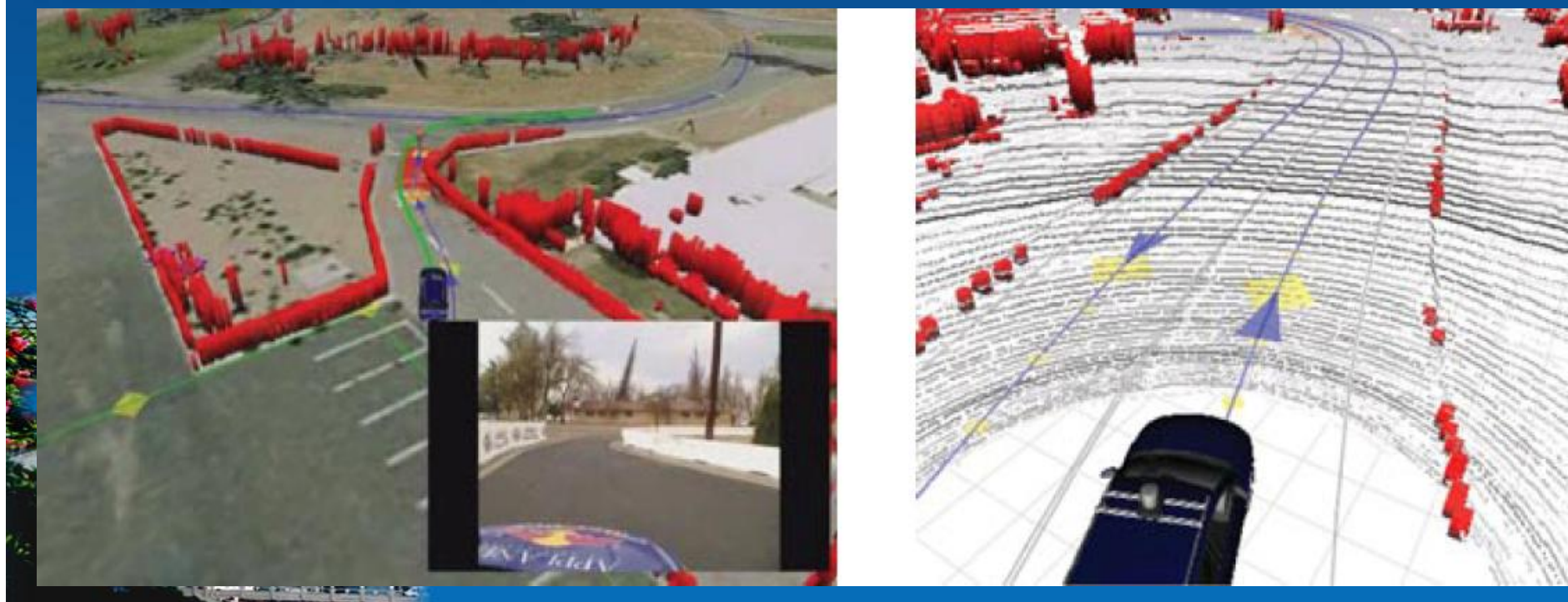




局部地图

■ 激光雷达局部地图

- 根据感知结果建立以行驶车辆为中心的激光雷达局部地图，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。

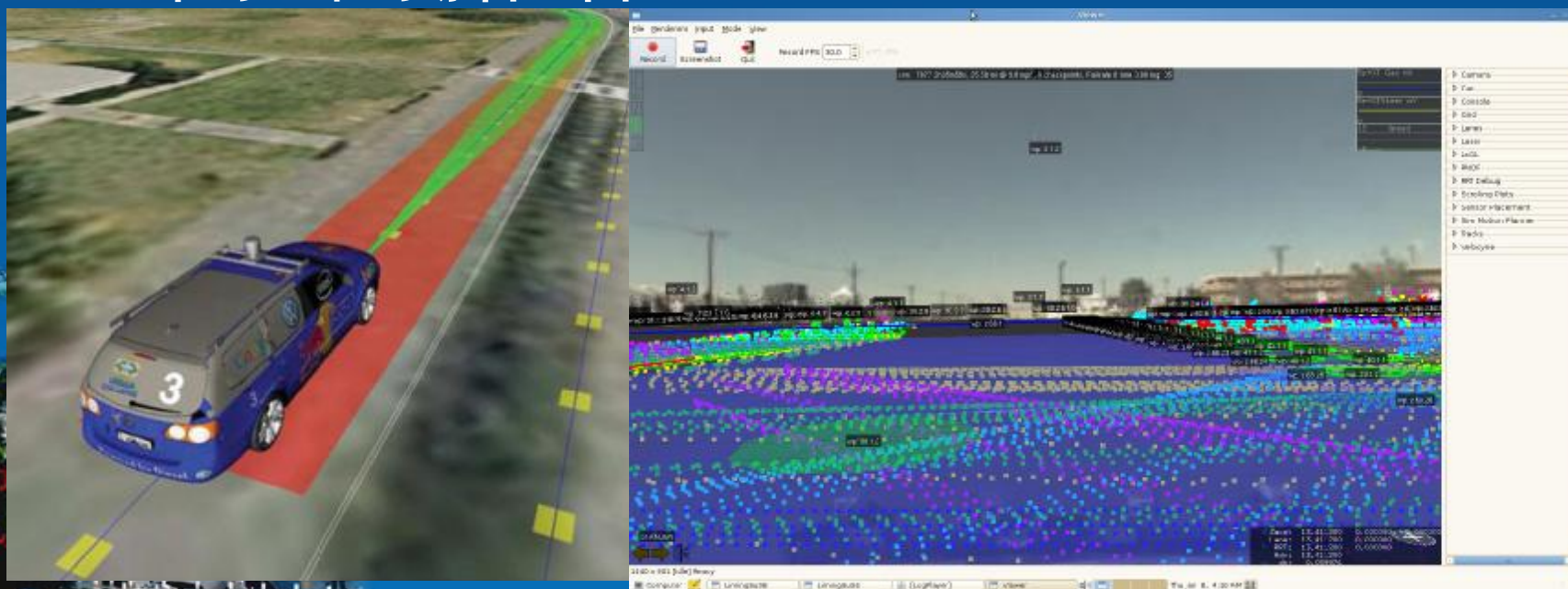




局部地图

■ 视觉局部地图

- 根据感知结果建立以行驶车辆为中心的视觉局部地图，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三维的综合地图。





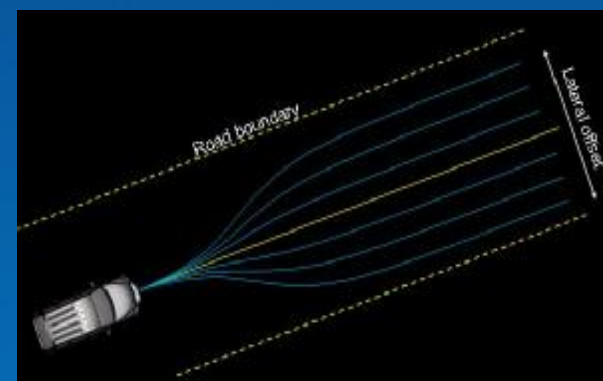
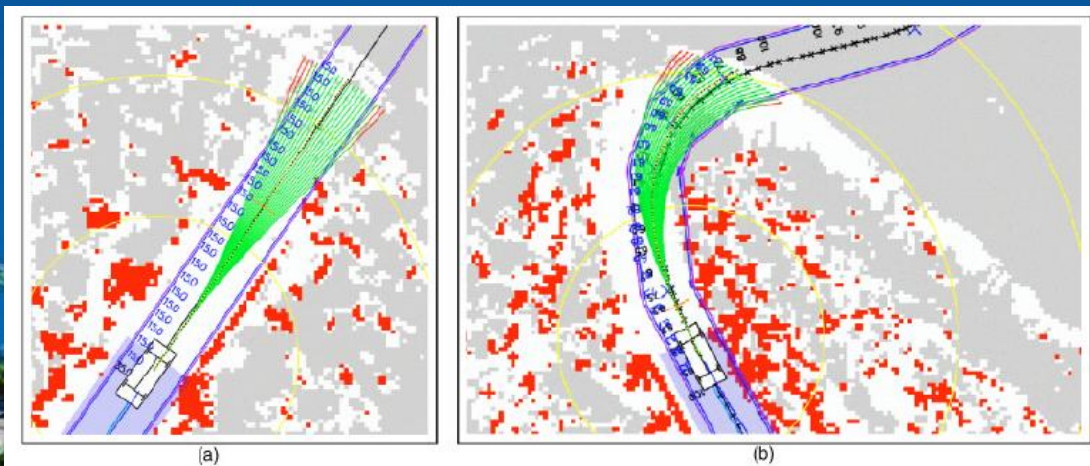
路线规划

■ 路径生成

- 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。

■ 路径平滑

- 根据车速、道路复杂度生成平滑的可能行驶路线；

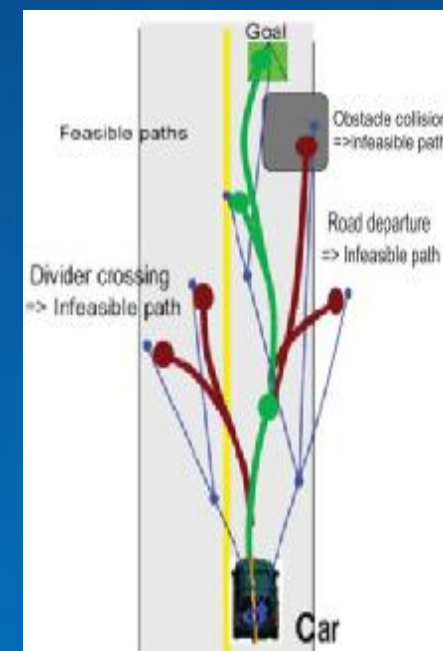
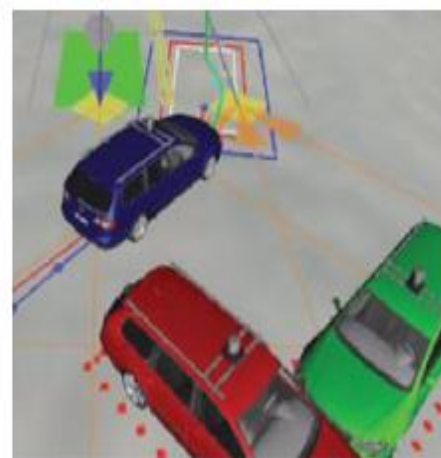
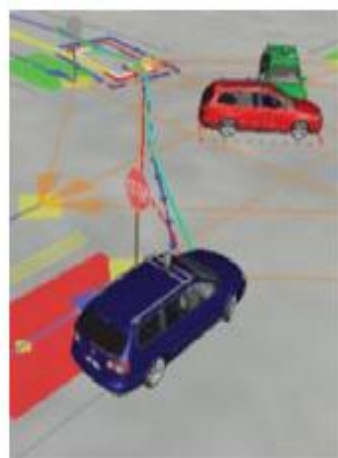
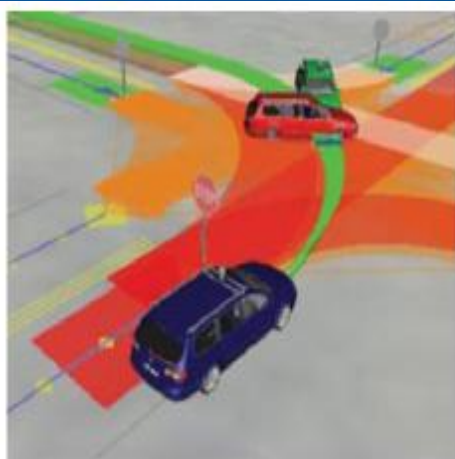




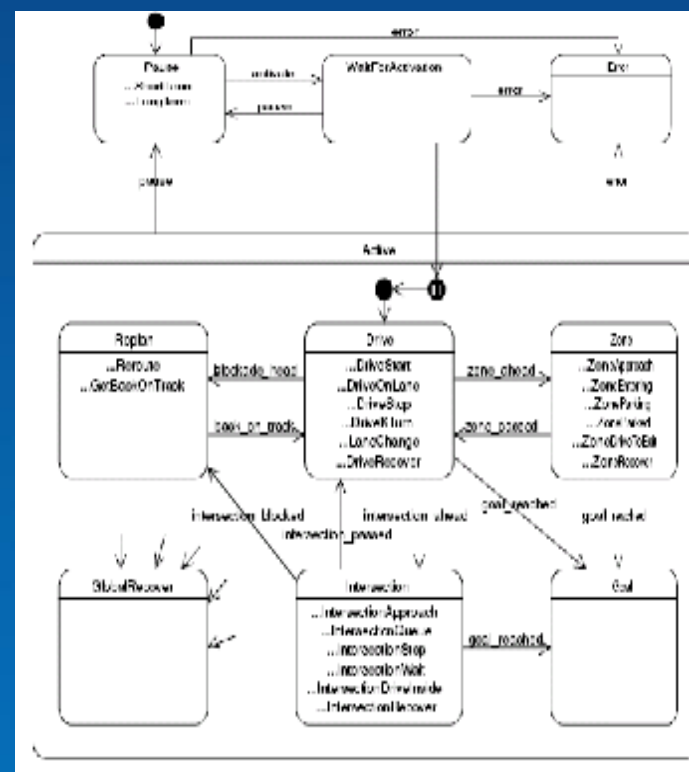
路线规划

■ 路径规划:

- 对可通行区域进行安全性评估。提取反映地形起伏幅度特征。设计可通行区通过代价函数。分析静态、动态障碍物和交通规程形成局部路径规划。



- 设计车辆各种状态的自动状态转移图，用于便于车辆运行控制。





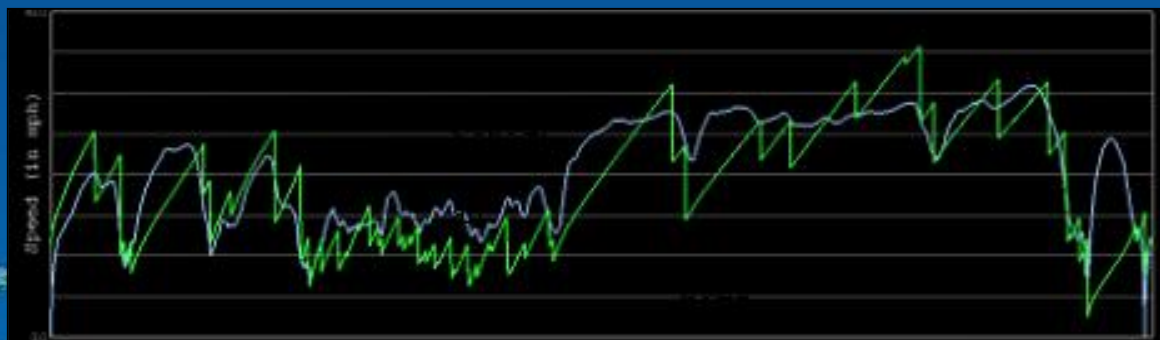
实时控制

■ 产生控制命令

- 产生控制命令：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。

■ 人工控制

- 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。





开发阶段

■ 第一期

- 硬件工作考虑以传感器、车辆、计算机、网络、电源选型为主。同时设计相应的安装位置方式的工程图。软件第一期考虑以离线仿真系统开发为主。

■ 第二期

- 当外购硬件设备到位后，硬件组以智能车集成为主，软件组可以考虑设计相应的传感器接口，这一期完成之后，希望能够实现集成完的智能车实时的数据采集录像。

■ 第三期

- 主要实现环境的识别认知，这一阶段的里程碑为通过识别认知构建局部的行驶地图。

■ 第四期

- 通过构建的行驶地图，进行路径规划，在有条件的情况下设计自动驾驶部分。实现完整的智能车。





谢谢！

