

港口无人驾驶开发实践

一汽解放汽车有限公司

白志刚



一 产业背景

二 开发方案

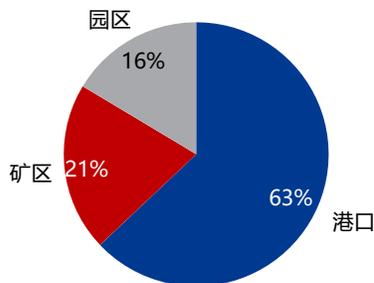
三 项目经验

产业趋势

《智能网联技术路线图》规划在**港口**、园区、矿区等特定较封闭场景率先开展自动驾驶系统示范应用。十四五规划尤其强调推进**智慧港口**建设，推动自动驾驶技术在港口场景的商业化规模应用。

特定封闭场景的率先应用

2020年全球封闭场景下自动驾驶商用车各细分赛道产业规模占比

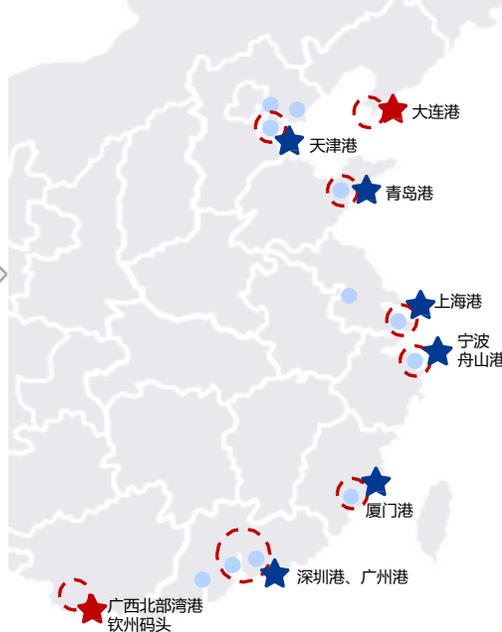


2021年发布的《智能网联汽车技术路线图》明确规划限定场景下，主要包括**港口**、**矿区**、**园区**的L4级自动驾驶技术将率先实现商业规模应用。

其中，十四五规划尤其强调**智慧港口**建设，是七个**国家交通运输领域新型基础设施建设**之一。预计十四五期间将**持续推进**智慧港口建设。

智慧港口产业趋势

智慧港口发展



截至2021年底，全国共有**11个**运用自动驾驶车辆的港口。根据十四五规划，至**十四五期末**，自动驾驶车辆在港口的应用仍将在**中东部沿海经济较发达地区**逐步规模化落地。

- 已落地自动驾驶的智慧港口
- 十四五重点规划智慧港口
- ★ 已小规模落地自动驾驶，十四五进一步强调的重点关注区域
- ★ 十四五前未落地自动驾驶，十四五强调推进的重点关注区域

智慧港口特征



运输自动化 人力成本提升、安全性需求增强及政策引导车辆自动化技术发展



低碳化 双碳政策引导与工业高相关度的园区厂区、起环保示范作用的港口矿区运输向“清洁运输”转型



经济效益要求提升 高频短距，对车辆经济性、利用率提出更高要求

场景聚焦



场景聚焦

集装箱码头从岸桥到堆场的装卸搬运作业，是利用岸桥、起重

机、内集卡或AGV等设备将集装箱搬运到指定地点的作业，**具有**

低速、封闭、无道路法规约束等特点，是智能

驾驶率先落地的场景之一。



31.32

根据交通运输部统计，2019年全国港口完成集装箱吞吐量**2.61亿TEU**，沿海港口完成2.31亿TEU，内河港口完成3015万TEU^[1]。结合港内集装箱水平运输12-15元/TEU^[2]，

港内集装箱水平运输经济规模为**31.32~39.15亿/年**

数据来源：【1】交通运输部统计数据。【2】恒润港口技术人员。TEU (Twenty-feet Equivalent Unit) 20英尺集装箱为标准箱。



码头岸桥自动化

船舶装卸货

水平运输机械自动化

集装箱运输

堆场自动化

集装箱堆放

其他自动化环节

其他港口运营环节

研究方向

集装箱码头多为闸口—场桥—**内集卡**—岸桥的运输场景。**自动驾驶集卡**将替换传统内集卡，完成堆场—岸桥**水平运输**作业。需要通过车队管理系统融入港口TOS系统，与港口对接，实现后台统一调度、规划路线，车辆远程监控、智能化管理。



一 产业背景

二 开发方案

三 项目经验

总体架构

打造一体化解决方案，构建**智能驾驶、云控平台、智慧运营**完整系统，真正实现协同作业、高效作业、无人作业。



智能驾驶-车型平台

基于一汽解放成熟车辆开发能力，结合港口集卡车**低速、重载**特定工况，集成高可靠车规级智能驾驶部件，定制化开发以下四款港口专用车型，满足港口**绿色化、智能化**需求。

车型				
产品平台	J6P	J6P	ICV	ICV
能源形式	柴油	纯电动	纯电动	纯电动
电量/油量	1000L	281kWh	314kWh	314kWh
驱动形式	6X4	6X4	4X4	8X4
整车外廓 (mm)	6915×2550×3600	7400×2550×3600	14500×3000×1900	14500×2800×1740
整备质量 (kg)	9220	11000	15000	17500
满载总质量 (kg)	84000	85980	78000	92500
最高车速 (km/h)	60	60	40	40
最大爬坡度 (%)	20	20	10	10
续航里程 (km)	/	180	/	211
应用	日照港	大连港	京唐港	青岛港

智能驾驶-场景识别

分析自动驾驶集卡作业流程和路径（出停车场→栏区装/卸箱→码头面卸/装箱→加燃料→入停车场停车），识别出11种典型工况场景，围绕11种典型工况进行场景定义和功能设定。

序号	工况	位置	场景 (动作分解)
1	启动	停车场、充电区	接受指令 (后台) → 自检 → 启动
2	初驶	停车场、充电区	接受任务+路径 (后台) → 加速 → 匀速
3	转弯	栏间路-纵路、横路-纵路、纵路-码头面	→ 识别信号 → 减速 → 判断 (停?) → 转
4	行进	栏区路、纵路、横路、码头面	→ 加速 → 匀速 → 减速 (车辆)
5	穿路	栏区-纵路、纵路-横路	→ 识别信号 → 减速 → 判断 (停) → 穿越
6	栏区待装/卸	栏区路	→ 判断 → 停车/低速跟车 → 减速 → 识别标号 (调整) → 停
7	装/卸箱	栏区路	→ 停 → 装载 (识别箱放稳?)
8	超车	栏区、纵路、横路、码头面	→ 加速 → 转弯 → 超车
9	码头卸/装箱	码头面	→ 判断 → 停车/低速跟车 → 减速 → 识别位置 (调整) → 停
10	充电 (加油)	充电区	电量实时监测 → 转弯 → 减速 → 停 (熄火 → 充电 → 完毕反馈)
11	停车	停车场	接受指令 (后台) → 转弯 → 减速 → 停车 (熄火、判别电量)



行驶场景：路口左转



行驶场景：精准停车



作业场景：岸桥装箱



行驶场景：路口右转



行驶场景：堆场直道

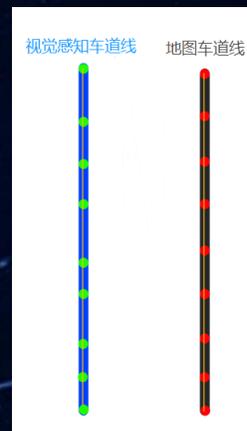


作业场景：堆场卸箱

智能驾驶-场景解构

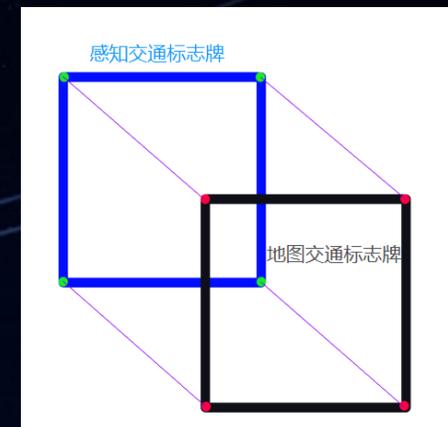
➤ 码头面/堆场行驶定位

1. RTK信号遮挡处，使用视觉融合定位：虚线车道线端点进行纵向定位，车道线进行横向定位，路牌、灯杆作为特征标志进行匹配定位
2. RTK信号良好处，进行RTK与视觉融合定位



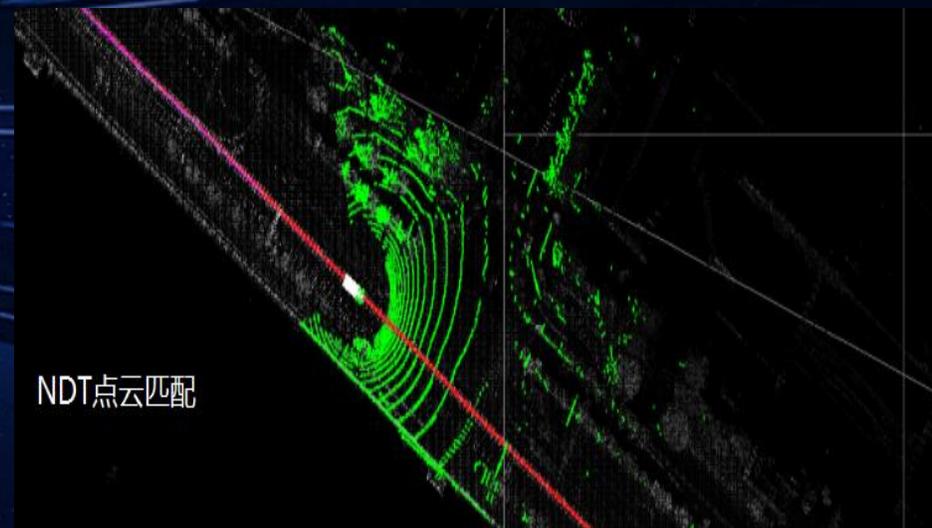
➤ 岸桥/轨道吊精准停车定位

1. NDT点云匹配，行驶中扫描点云集与点云地图进行匹配，确定自车与岸桥/轨道吊的相对位置
2. 岸桥/轨道吊上贴上反光条作为特征点识别，进行激光感知，匹配岸桥/轨道吊上特征点，获得自车相对岸桥/轨道吊位置
3. 岸桥/轨道吊有人工停车对准标志 (eg: 四条竖直短线)，将人工停车对准标志作为视觉标志进行视觉特征匹配，确定自车与岸桥/轨道吊的相对位置



➤ 特殊天气状况定位 (雪天)

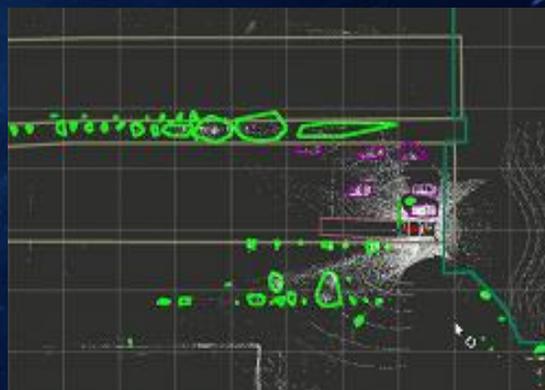
1. 及时清理积雪，暴露车道线、车牌、灯杆等标志物
2. 考虑UWB方案(利用飞行时间 (Time of Flight: ToF), 这是一种通过将信号的飞行时间乘以光速来测量两个无线电收发器之间距离的方法)



智能驾驶-场景解构

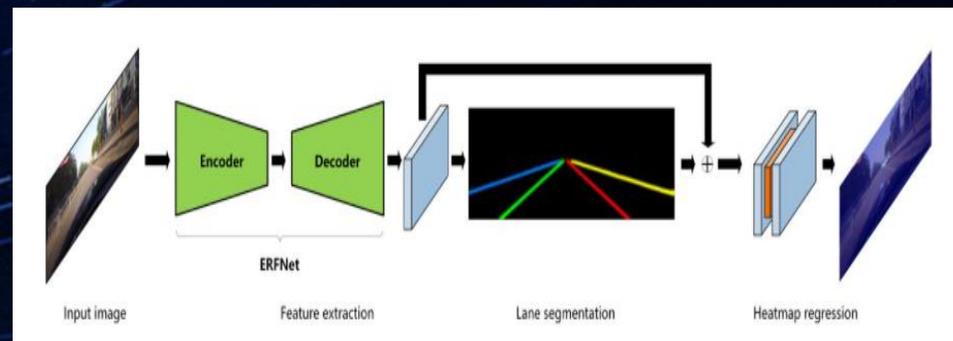
挂车姿态检测

挂车角度检测，首先提取挂车前部和侧面的平面，拟合出立方体计算该立方体朝向，然后根据该立方体去除挂车点云，避免将挂车当作障碍物误检。



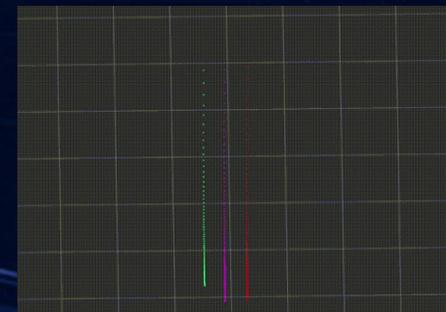
路面标线检测（车道线）

视觉车道线检测使用深度学习与聚类相结合算法，首先ERFNet深度学习算法从图像数据中分割出车道线mask，然后聚类算法对mask结果进行后处理，从而获取车道线信息。



集装箱状态检测

1. 吊具状态识别：感知算法可以识别吊具并精准定位吊具高度，通过高度判断吊具与集装箱是否连接；
2. 接收CTOS吊具状态指令：同时系统可以接受到CTOS吊具状态指令，用于吊具状态判断的冗余校验；
3. 后激光调整竖直安装：后向激光雷达需要垂直安装，以获得更大的垂直FOV，扫描到高空吊具状态。

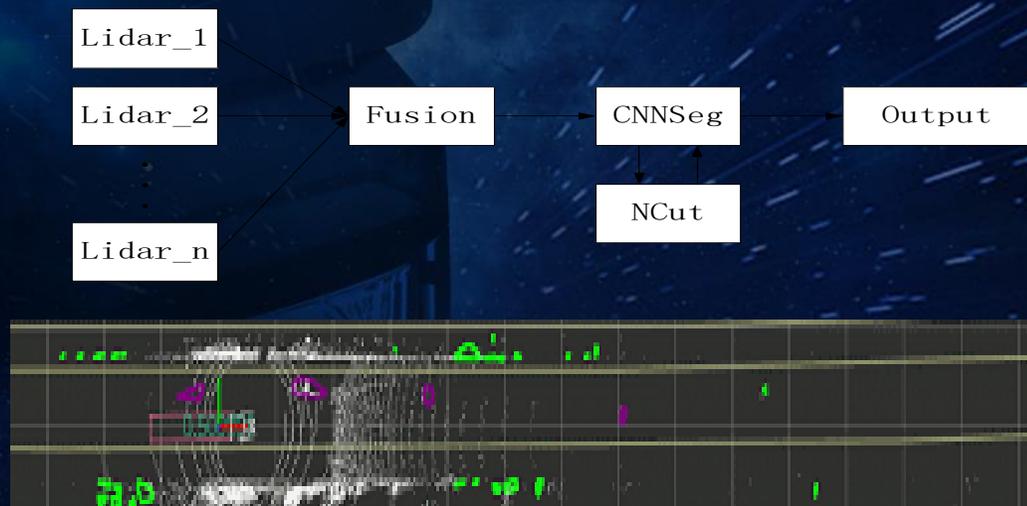


智能驾驶-场景解构

➤ 障碍物检测

1. 常见障碍物检测（激光方案）：

检测算法中将CNNSeg深度学习算法与传统聚类算法融合起来，深度学习算法主要检测近中距的障碍物，传统算法主要检测小障碍物、远距障碍物和不规则障碍物等；

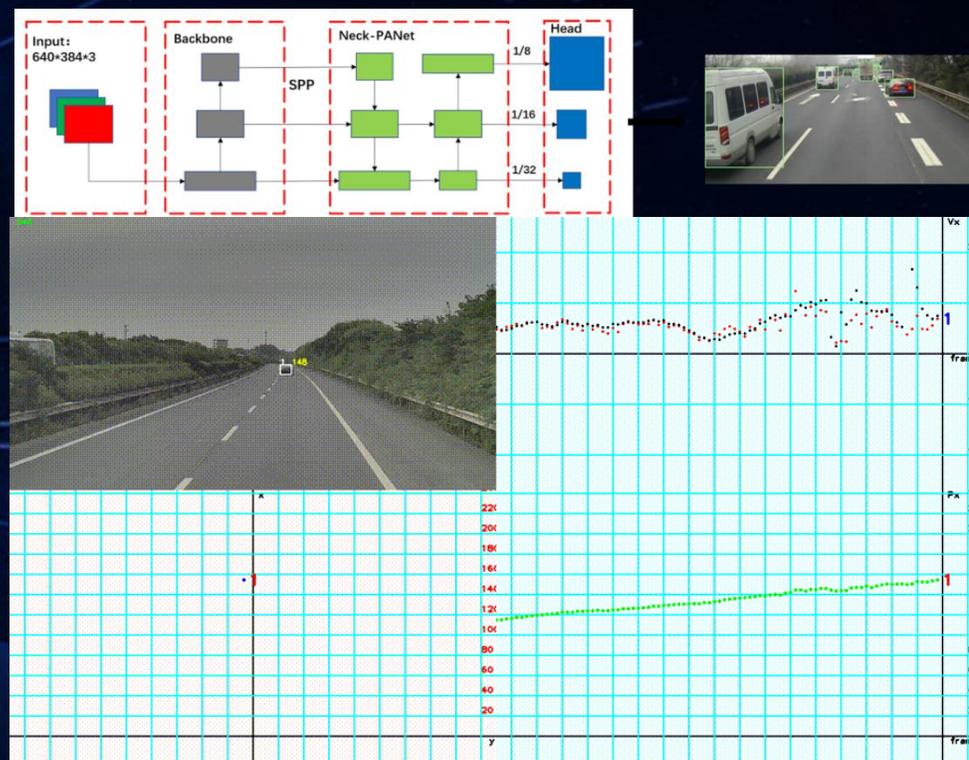


2. 精准停靠标志物检测（激光方案）：

根据位置、形状、反射强度等信息，识别精准停车标志物，输出位置，并固定该障碍物ID，便于下游模块识别。

3. 常见障碍物检测（视觉方案）：

视觉障碍物检测使用yolov4深度学习算法，首先从图像数据中检测出2d障碍物位置，然后再结合相机内外标定参数进行坐标投影，从而获取障碍物信息。

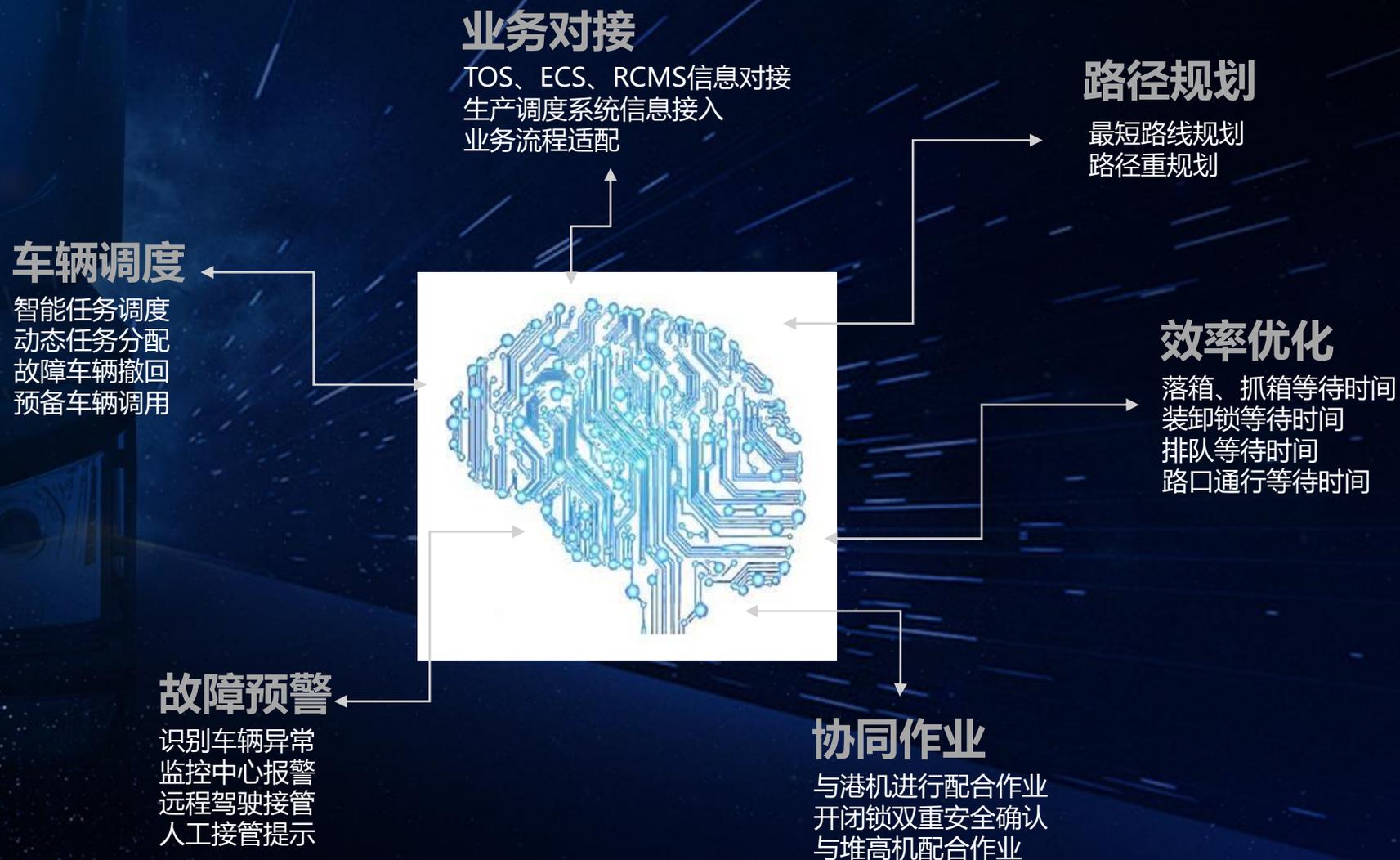


智能驾驶-安全设计

严格按照ISO26262/21448/21434流程方法展开软硬件系统安全设计，保证自动驾驶集卡安全行驶作业。



云控平台-车队调度平台



云控平台-运营管理平台

任务指令下发

每辆车的装卸箱任务、起始点和目标点、箱号、任务执行时间、任务暂停或终止信息

位置和轨迹监视

在场区地图上呈现每辆集卡的规划路线、当前位置、实时路径轨迹。

实时视频监视

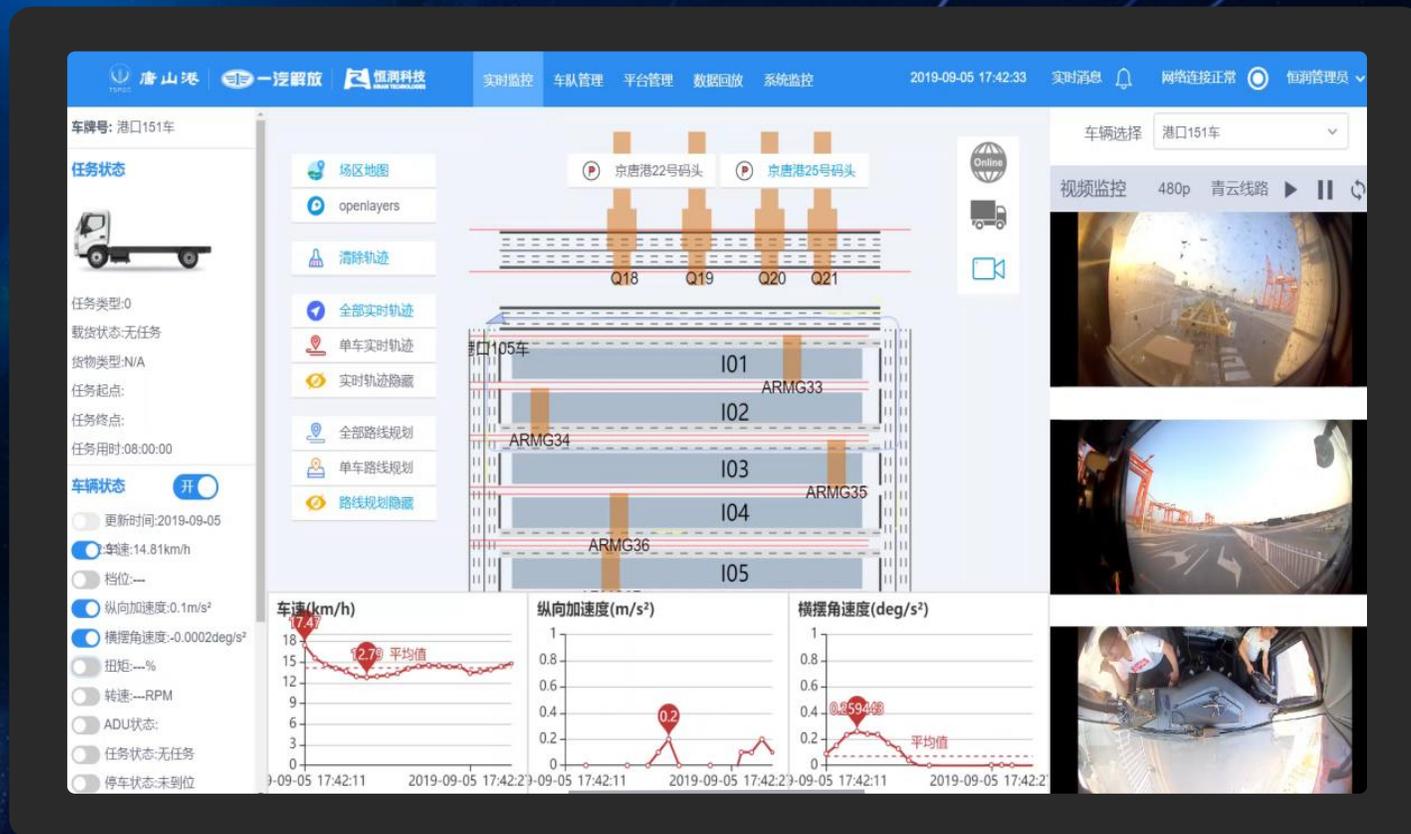
前向（道路）、后向（挂车）、车内（安全员）共3个视角的高清、实时监视视频。

环境工况显示

岸桥和堆场上的吊机位置、吊机的移动状态（停止/运动），抓箱状态

车辆工况显示

车速、扭矩、转速、加速度、油量等工况信息以数值和曲线显示，可任意选择曲线信号源



云控平台-数据分析平台

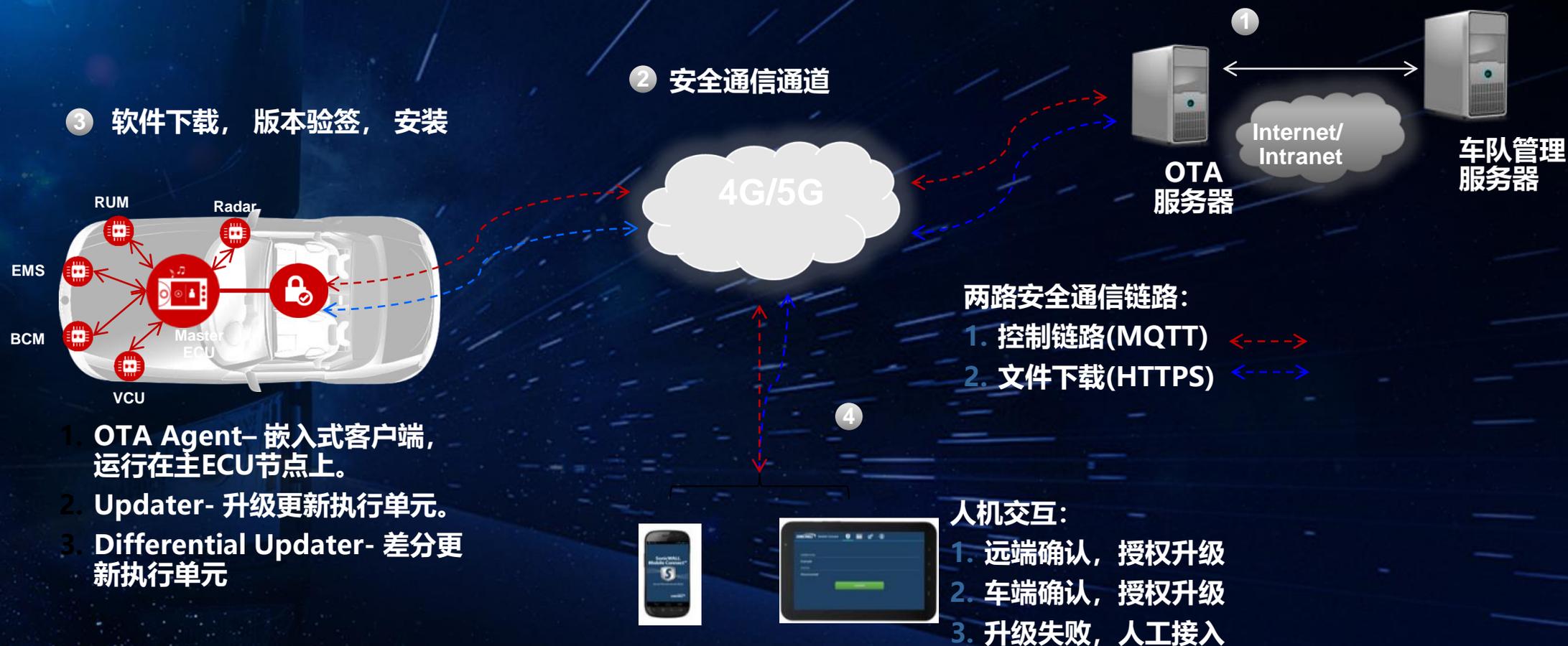
工程大数据平台

研发人员开发环境



工程大数据平台是无人集卡技术快速迭代优化的关键保障条件

云控平台-OTA升级平台



3 软件下载, 版本验签, 安装

2 安全通信通道

两路安全通信链路:

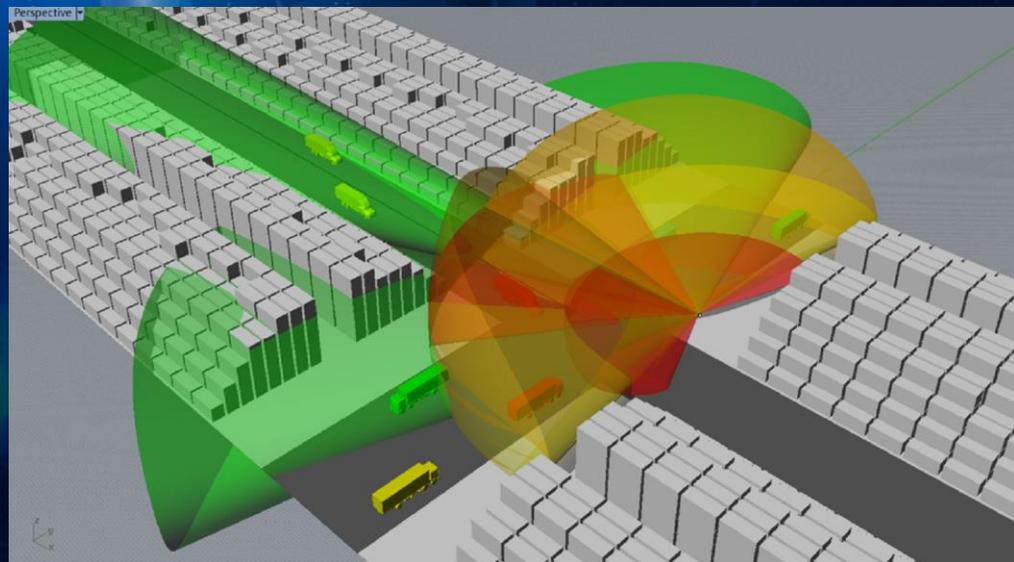
- 1. 控制链路(MQTT) ↔
- 2. 文件下载(HTTPS) ↔

人机交互:

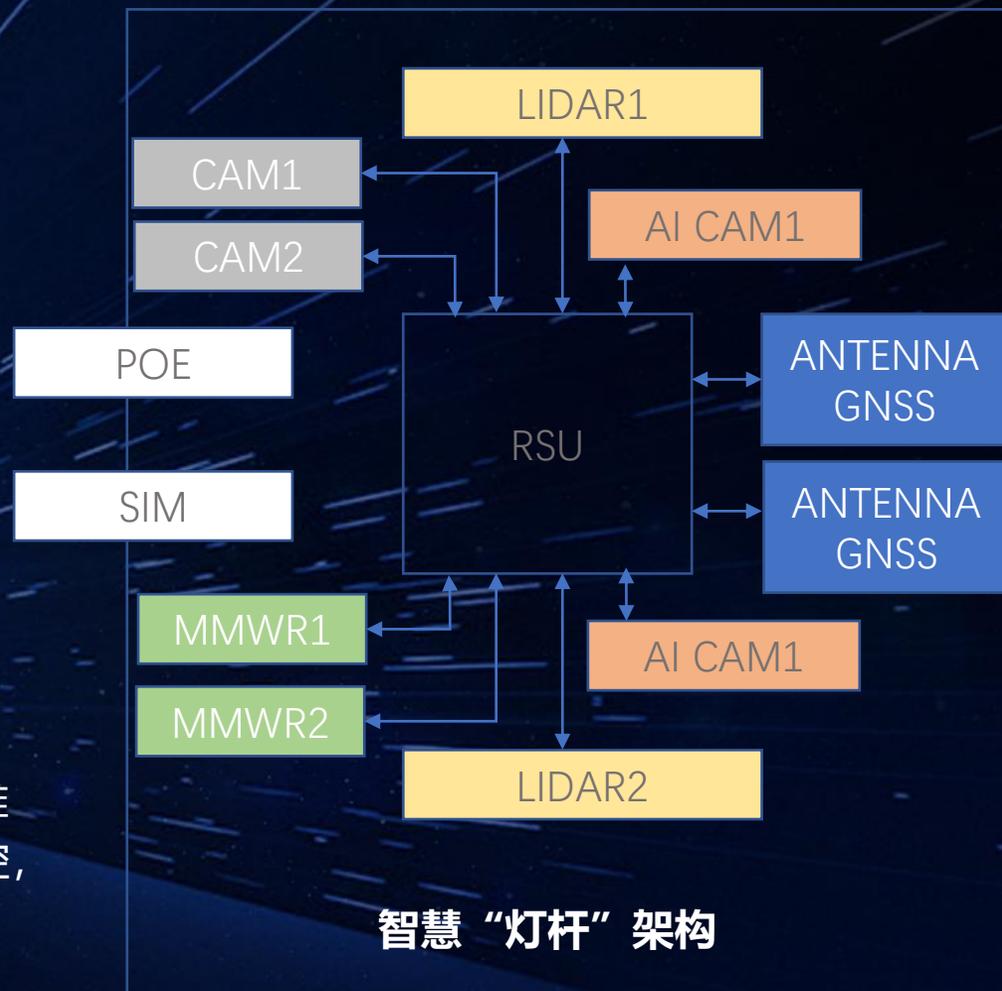
- 1. 远端确认, 授权升级
- 2. 车端确认, 授权升级
- 3. 升级失败, 人工接入

- 1. OTA Agent- 嵌入式客户端, 运行在主ECU节点上。
- 2. Updater- 升级更新执行单元。
- 3. Differential Updater- 差分更新执行单元

云控平台-V2X车路协同



堆场主要路口布置车路系统感知系统，可以时刻感知堆场外来车辆与人员的实时位置，便于堆场的智能化管控，并且提升了无人集卡的系统安全性，提升了作业效率。

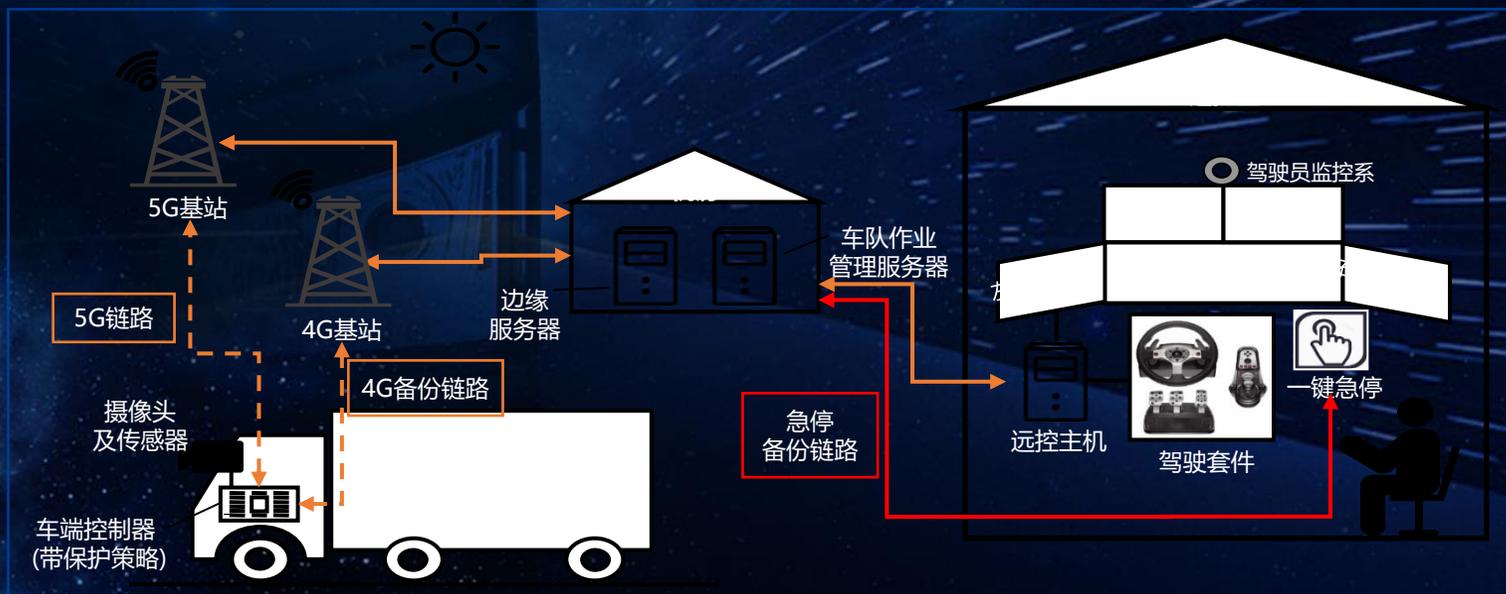


云控平台-远程驾驶平台

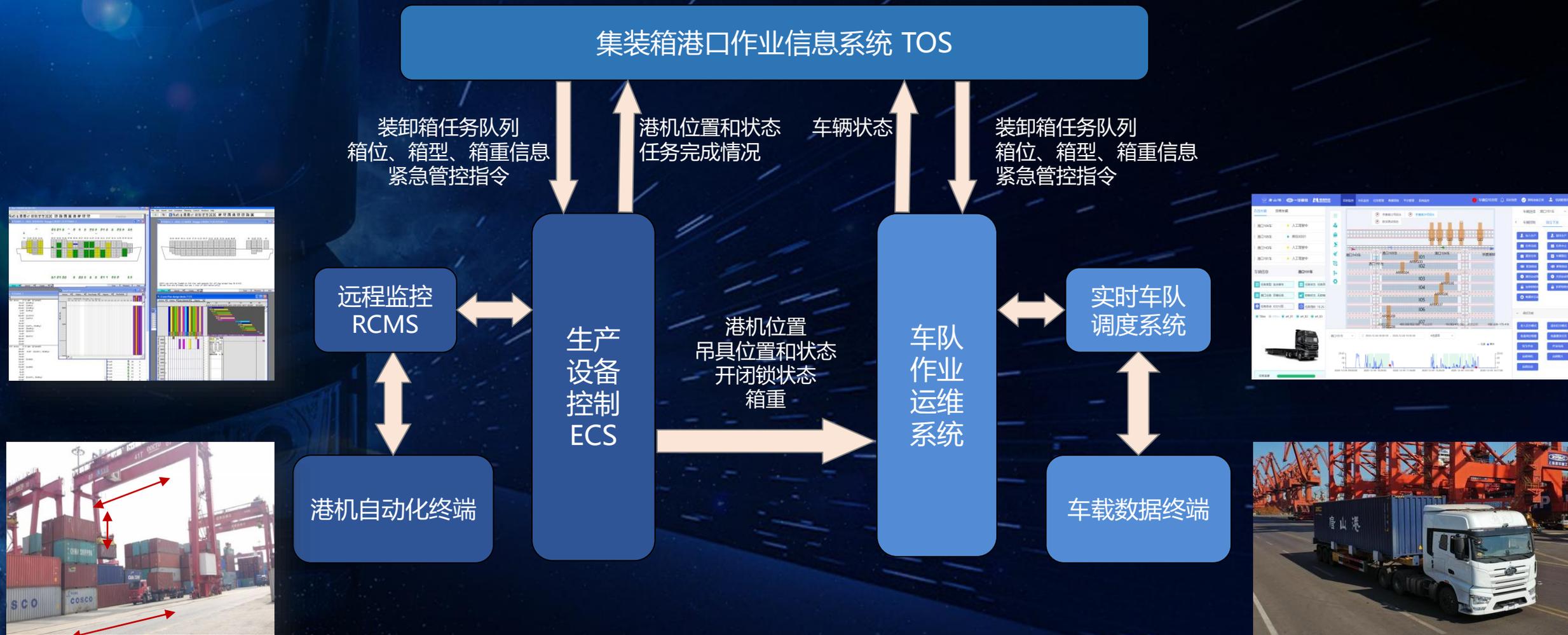
基于5G环境，在港内部署远程驾驶系统，具有低时延、高可靠特性，当智能驾驶车出现故障或者特殊工况无法继续作业时，远程驾驶系统介入完成作业工作，排除系统故障，可大大提高运营联调的及时性、稳定性，减少人员入港干预频次。



5G远程驾驶-夜间驶入码头面卸锁工位



智慧运营-业务系统对接

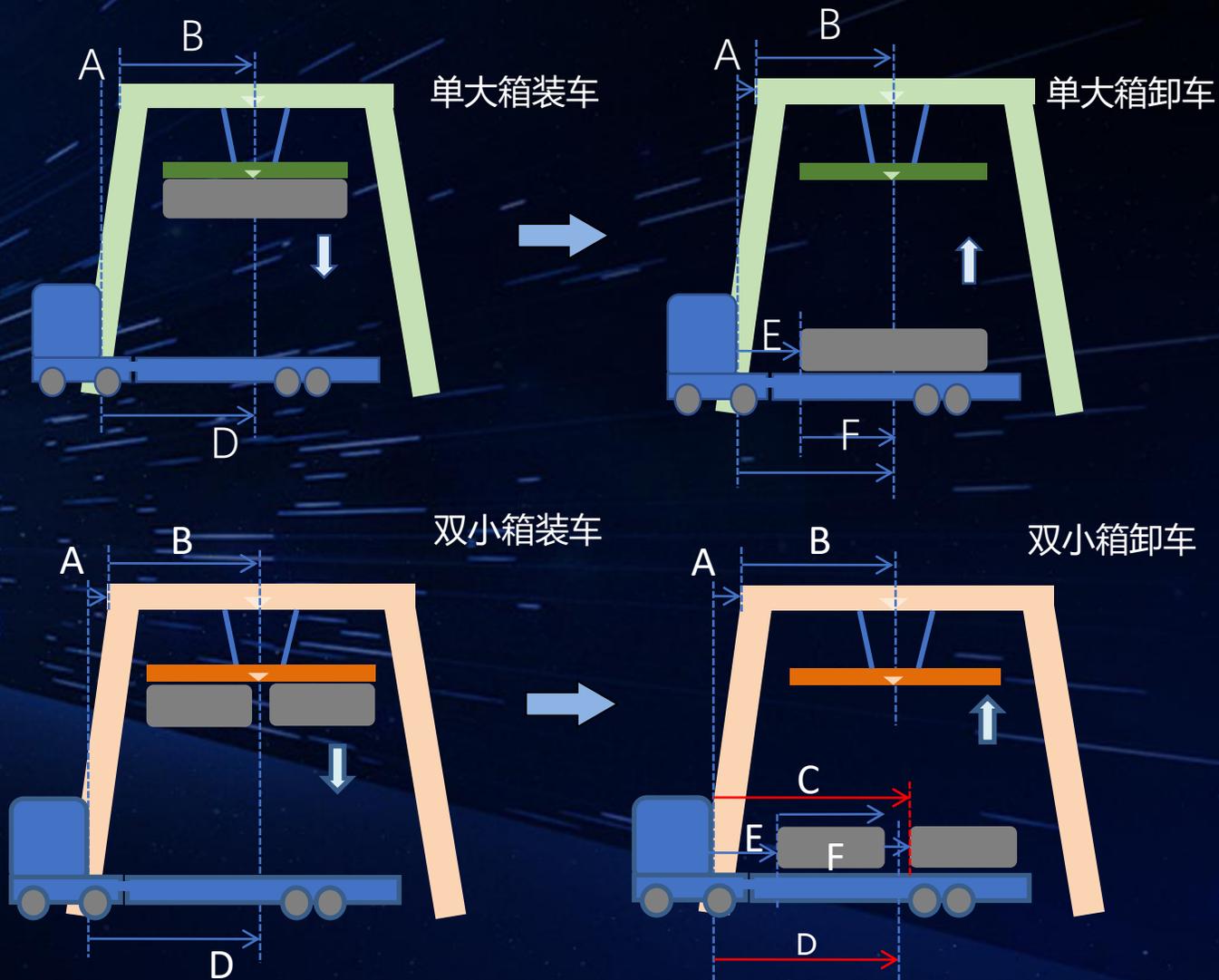


智慧运营-协同作业控制

不同的装卸模式有不同的停车要求

装箱数	装车模式	卸车模式
单大箱	一次落箱	一次抓箱
单小箱	一次落箱-前置	一次抓箱-前置
	一次落箱-中置	一次抓箱-中置
	一次落箱-后置	一次抓箱-后置
双小箱	一次落双箱	一次抓双箱
	一次落双箱	先抓前箱/再抓后箱
	一次落双箱	先抓后箱/再抓前箱
	先落前箱/再落后箱	一次抓双箱
	先落后箱/再落前箱	一次抓双箱
	先落前箱/再落后箱	先抓前箱/再抓后箱
	先落前箱/再落后箱	先抓后箱/再抓前箱
	先落后箱/再落前箱	先抓前箱/再抓后箱
	先落后箱/再落前箱	先抓后箱/再抓前箱

根据停车位置和车重的不同，提取估算最佳减速距离



一 产业背景

二 开发方案

三 项目经验

开发历程

从单车示范，到协同测试，到最终的整体技术方案提供，通过完善的数据平台支持快速迭代开发，可提供车端和云端智能、远程平行驾及车路协同的一体化解决方案能力。通过服务升级，场景复制，加速港口场景无人驾驶商业化落地。



时间	港口	场景迭代
2018.2~ 2018.4	青岛港	单车示范 -实现简单场景的自动驾驶和联合作业 -搭建车辆监控调度后台
2018.11~ 至今	京唐港	协同测试 -可应对复杂环境和复杂作业场景 -与港口信息系统充分对接 -形成完善的数据服务中心 -2019年10月起智能集卡车队示范运营
2019.4~ 至今	日照港	解决方案 -基于5G环境，进行远程驾驶功能测试 -在E/F泊位，进行自动驾驶功能测试 -与TOS及ECS系统进行信息对接 -2021年1月起智能集卡车队示范运营
2021.12~ 至今	大连港	场景复制 -2021年12月运营测试

项目经验-青岛港



精准停车



卸箱作业



路口通行



自动避障

项目经验-京唐港

车队调度



自动驾驶



联合作业



远程接管



项目经验-日照港



全球首个顺岸开放式全自动化集装箱码头正式启用

山东港口日照港

2021.10.9





坚持自主 创新突破

创建中国第一个百年民族汽车品牌