

车路云协同系统集卡车路口混行作业方案

彭昕¹ 王亚¹ 陈文铭² 刘昊²

1 武汉港集装箱有限公司 2 武汉港务集团有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i1.5123

[摘要] 鉴于目前智慧港口技术的成熟度以及武汉阳逻港总体布局图和作业工艺要求,本方案从经济性和适用性角度出发,采用车路云协同系统,以阳逻港为运营场景制定了集卡车路口混行作业方案。通过V2X通信技术,采用Dijkstra全局路径规划算法和Floyd动态规划算法相结合,实现了无人集卡在行驶和交汇时合理避让,提高了码头的装卸效率和安全性,并降低了作业能耗。

[关键词] V2X通信技术; 车路云协同系统; 无人集卡; 混行作业

中图分类号: TS801.8 **文献标识码:** A

The vehicle-road cloud collaboration system sets the mixed-line operation scheme at truck intersections

Xin Peng¹ Ya Wang¹ Wenming Chen² Hao Liu²

1 Wuhan Port Container Co., LTD 2 Wuhan Port Affairs Group Co., Ltd

[Abstract] In view of the maturity of the current smart port technology and the overall layout map and operation process requirements of Wuhan Yangluo Port, this scheme, from the perspective of economy and applicability, adopts the vehicle-road cloud coordination system, and formulates the mixed operation plan of truck intersection with Yangluo Port as the operation scenario. Through V2X communication technology and the combination of Dijkstra global path planning algorithm and Floyd dynamic planning algorithm, the unmanned collection card achieves reasonable avoidance when driving and meeting, improves the loading and unloading efficiency and safety of the wharf, and reduces the operation energy consumption.

[Key words] V2X communication technology; road cloud collaborative system; unmanned collection card; mixed operation

引言

考虑到目前智慧港口技术的成熟度和阳逻港外部环境的支持状况,从经济性和适用性角度出发,按照“一次规划、分步实施”的原则,阳逻港集装箱码头的智能化改造计划以一个箱区和一个泊位为试点,改造两台场桥、两台岸桥及其配套的IGV设备,使它们能够协同工作。通过本项目的研究试点,公司希望能够打通技术路线,为后续在全港区域推进智慧港口建设提供示范和引领作用。

1 整体方案

以阳逻港为运营场景制定了集卡车路口混行方案,该方案以5G和工业互联网为载体,利用云计算、大数据、物联网、人工智能等先进信息化技术作为实现手段,由车辆、路侧设备和无人集卡监管平台及调度平台组成,形成了“聪明的车”、“智慧的路”和“聪明的脑”的整体架构。

通过使用无人驾驶水平运输设备和外集卡混行作业,实现了在行驶和交汇时合理避让,不再需要传统方式如单独划分车道或在交叉路口设置道闸等来确保行车安全。该方案能够实现

集装箱码头生产作业的全面自动化,有效解决有人集卡码头路口的混行问题,支持自动化集装箱码头的智能管理和高效作业。此外,在不改变码头原有的通行规则的情况下,该方案可以提高码头的装卸效率和安全性,同时也能有效降低集卡车的能耗。

2 车路协同系统

根据武汉阳逻港总体布局图和作业工艺要求,设计建设车路协同系统,为自动驾驶水平运输设备的局部路径规划提供辅助决策信息。

2.1 技术架构

V2X通信技术是实现环境感知的重要技术之一^[1],与传统车载激光雷达、毫米波雷达、摄像头、超声波等车载感知设备优势互补,为自动驾驶汽车提供雷达无法实现的超视距和复杂环境感知能力^[2]。V2X通信通过和周边车辆、道路、基础设施进行通信,从时间、空间维度扩大了车辆对交通与环境的感知范围,能够提前获知周边车辆操作信息、交通控制信息、拥堵预测信息、视觉盲区等周边环境信息。

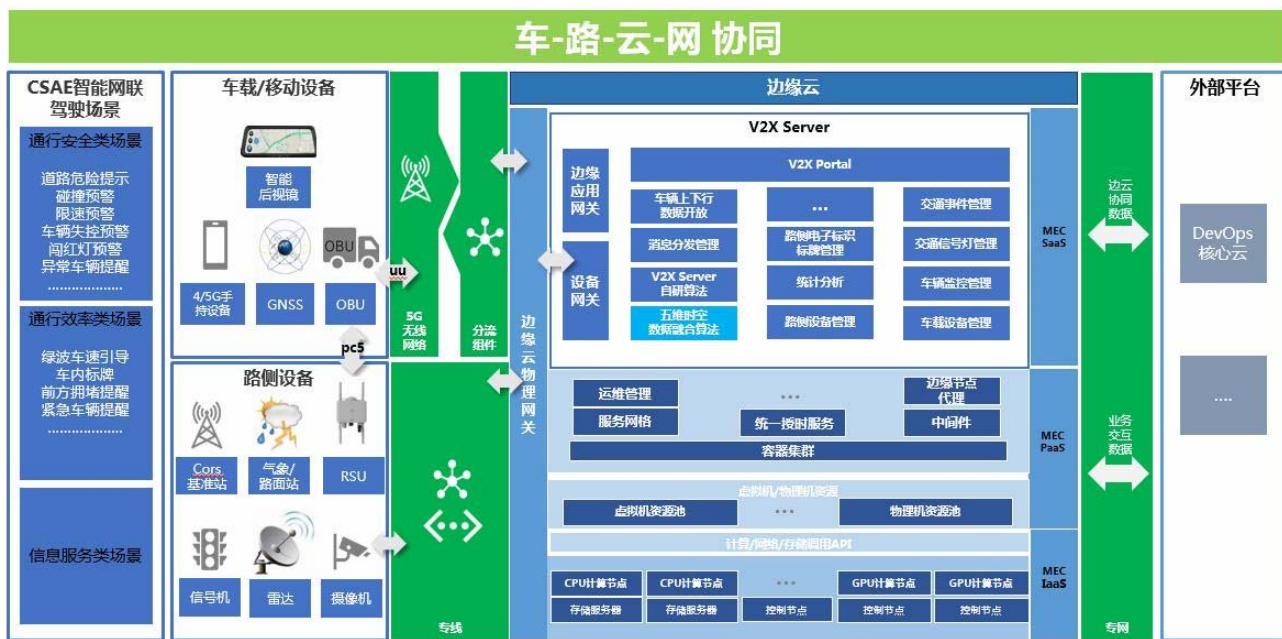


图1 车路协同系统总体架构图

2.2 系统架构

车路协同系统总体架构图见图1:

数据接入方面, 车辆通过车载智能设备或OBU(是车载电子标签的缩写)由设备接入网关上传BSM消息到平台; RSU将SPAT上传给平台。在平台层, 接收相应报文进行解析、分类处理, 将生成的实时事件通过设备接入网关下发到对应路侧设备和车辆, 并对数据和事件做入库处理, 后续可对该类数据进行查询、统计、计算处理。

2.3 应用场景

开发基于5G/C-V2X的辅助信息提醒、协同感知融合和协同控制功能, 包括但不限于V2X超视距障碍物、道路危险状况提示、交叉路口碰撞预警等。具体应用场景介绍如下:

2.3.1 超视距障碍物

主车(HV)行驶到有障碍物的路段, 存在发生事故风险时, 超视距障碍物预警应用对HV2.4驾驶员进行预警。

2.3.2 交叉路口碰撞预警

交叉路口碰撞预警是指, 主车(HV)驶向交叉路口, 与侧向行驶的远车(RV)存在碰撞危险时, 交叉路口碰撞预警应用将对HV驾驶员进行预警。本应用适用于城市及郊区普通道路及公路的交叉路口、环道入口(环形道路的入口)、高速路入口等交叉路口碰撞危险的预警。交叉路口碰撞预警应用辅助驾驶员避免或减轻侧向碰撞, 提高交叉路口通行安全。

交叉路口碰撞预警包括如下主要场景:

HV停止在路口, RV-1从HV左侧或右侧驶向路口, HV的视线可能被出现在路口的RV-2所遮挡。HV和RV-1需具备短程无线通信能力, RV-2是否具备短程无线通信能力不影响应用场景的有效性。HV启动并准备进入路口时, 交叉路口碰撞预警应用对HV驾

员发出预警, 提醒驾驶员与侧向来车RV-1存在碰撞危险。预警需确保HV驾驶员收到预警后, 能有足够时间采取措施, 避免与RV-1发生碰撞。HV在路口起步场景图见图2:

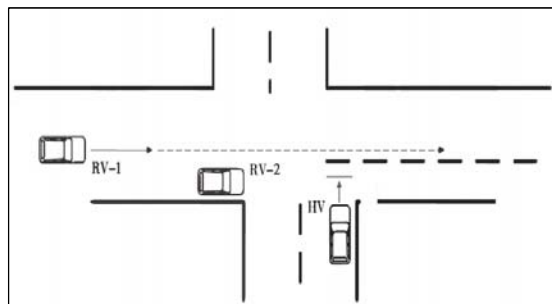


图2 HV在路口起步场景图

3 算法模型

3.1 Dijkstra全局路径规划算法

全局路径规划根据车辆当前位置从路网中选择一条最优的路线到达目的地, 路网通常用有向图表示, 边的权重表示经过这条路线的成本, 由此可以在路网中找到一条花费最小的路线, 解决有向图最短路径的问题^[3]。典型的最短路径算法Dijkstra, 它的主要特点是以起始点为中心向外层层扩展(广度优先搜索思想), 直到扩展到终点为止。

考虑一个连通无向图 G , 一个以顶点 V 为根节点的最短路径树 T 是图 V 满足下列条件的生成树: 树 T 中从根节点 V 到其它顶点 U 的路径距离, 在图 G 中是从 V 到 U 的最短路径距离。在一个所有最短路径都明确(例如没有负长度的环)的连通图中, 我们可以使用Dijkstra算法构造最短路径树。

3.2 Floyd动态规划算法

(1) 从任意一条单边路径开始。所有两点之间的距离是边的权, 如果两点之间没有边相连, 则权为无穷大。

(2) 对于每一对顶点 u 和 v , 看看是否存在一个顶点 w 使得从 u 到 w 再到 v 比已知的路径更短, 如果有则更新它^[4]。

3. 3 轨迹规划算法

对目标车道在时间周期 T 后的终止位置进行采样。采样规则是: 由参考线上离当前位置最近的点向前取不同纵向偏移量 s_1, s_2, s_3 。每一个纵向偏移量对应三个末状态横向偏移量 l_1, l_2, l_3 。用两层循环遍历各种末状态的组合, 再经过多项式拟合, 即可获得不同的轨迹。

巡航(无障碍车)时不考虑终点位置约束, 采用四次多项式拟合进行纵向轨迹生成。

$$\begin{aligned} s(t) &= b_1 t^4 + b_2 t^3 + b_3 t^2 + b_4 t + b_5 \\ v(t) &= 4b_1 t^3 + 3b_2 t^2 + 2b_3 t + b_4 \\ a(t) &= 12b_1 t^2 + 6b_2 t + 2b_3 \end{aligned} \quad (1)$$

由上式解方程组可得横向轨迹的系数, 即可得到横向轨迹的表达式。

对于跟车、停车时的纵向轨迹采用五次多项式拟合生成。

$$[b_1, b_2, b_3, b_4, b_5] \quad (2)$$

横向轨迹生成还需要考虑最大加速度约束、最大车速约束、最大车速约束:

$$v_1 \leq v_{\max} \quad (3)$$

最大加速度约束:

$$\frac{|v_1 - v_0|}{T} \leq a_{\max} \quad (4)$$

由此生成多条轨迹簇, 采用代价函数的方法对每一条轨迹进行评估, 选择代价值最小的轨迹作为最优轨迹。候选轨迹的代价函数如下:

$$\begin{aligned} f(i) &= w_1 \text{Cost}_1(i) + w_2 \text{Cost}_2(i) + w_3 \text{Cost}_3(i) \\ &+ w_4 \text{Cost}_4(i) + w_5 \text{Cost}_5(i) + w_6 \text{Cost}_6(i) \end{aligned} \quad (5)$$

代价函数由3部分的Cost及各自的系数组成。

Cost1: 与参考车速一致性。其表达式为下式, N 为路径散点总数, $v_{\text{target}}(i)$ 为每个散点的目标车速, $v(i)$ 为每个散点的实际车速。

$$\text{cost}_1 = \sum_{i=1}^n \sqrt{(v_{\text{target}}(i) - v(i))^2} \quad (6)$$

Cost2: 纵向jerk, 即纵向加速度的导数, 该项尽可能小, 以

确保加速度变化平缓。

$$\text{cost}_2 = \sum_{i=1}^n \sqrt{v''(i)^2} \quad (7)$$

Cost3: 碰撞风险, 如下式所示, d_{\min} 表示为轨迹与障碍物的最近距离。

$$\text{cost}_3 = \sqrt{d_{\min}^2} \quad (8)$$

上文中, 根据各个路径的代价函数对各个路径进行排序, 还需要对最优路径进行碰撞检测。依次取代价最小的路径进行静态障碍物和动态障碍物检测, 若该路径无碰撞风险, 则输出该路径为最优轨迹, 若该路径有碰撞风险, 则取代价值次优的轨迹进行碰撞检测, 直到找到无碰撞轨迹。

检测碰撞风险主要考虑以下两点:

- (1) 与静态栅格图做碰撞检测, 滤除有碰撞可能的轨迹
- (2) 根据障碍物位置、速度、航向角等信息、预测一段时间的运动轨迹, 并与自车规划轨迹进行碰撞检测^[5]。

最终得到无碰撞风险且平缓的轨迹, 并输出到控制模块, 转换成方向盘转角、油门开度或制动减速度控制车辆行驶。

4 结语

本方案以武汉阳逻港智慧化改造为例, 结合Dijkstra全局路径规划算法和Floyd动态规划算法建立数据模型, 旨在为无人驾驶集卡车辆计算出一条最优路径, 使无人集卡能够顺利到达目的地。

在此基础上, 依托5G和工业互联网为载体, 利用V2X通信技术和车路云协同系统, 由车辆、路侧设备和无人集卡监管平台及调度平台组成, 构建了“聪明的车”、“智慧的路”和“聪明的脑”的整体架构。目前, 该方案已在阳逻港成功实施, 实现了无人集卡在码头和有人集卡混行和交汇时合理避让, 从而提高了码头的装卸效率和安全性, 并降低了作业能耗, 达到了预期效果。

[参考文献]

- [1]苑广勇. 基于5G的V2X车联网通信模组技术应用[J]. 电子技术, 2023, 52(07): 56-57.
- [2]闫力博, 陈彩霞, 韩晓惠. 基于超声波和毫米波雷达的泊车感知系统研究[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(09): 40-44.
- [3]黄祖成, 沈梦圆, 侯至丞. 基于多路径广度优先搜索算法的代谢通路设计与实现[J]. 集成技术, 2021, 10(05): 72-79.
- [4]陈骏, 沈琦琦. 自动导引车路径规划算法的研究综述[J]. 自动化与仪器仪表, 2023, (09): 8-15.
- [5]罗大威. 自动驾驶汽车路面异常检测和规避方法研究[D]. 重庆大学, 2022.

作者简介:

彭昕(1984—), 男, 汉族, 湖北省武汉人, 本科, 中级, 从事港口装卸设备的科技创新及改造工作。