



# ASAP课题组研究介绍

Autonomous, Sustainable Automotive Protection



曹越

武汉大学，国家网络安全学院

Ver.2025.9

## PI介绍

### 成员介绍

### 研究方向

### 科教育人

### 社会服务

### 国际合作



曹越

#### 学术资历

- 英国皇家特许工程师
- 英国工程技术学会-会士
- 英国皇家学会工艺院-会士
- 英国计算机学会-会士
- 英国高等教育学-会士
- IEEE-高级会员

#### 个人荣誉

- 国家海外高层次青年人才
- 日本JSPS特别研究员（短期）
- 湖北省科技厅“科技专员”
- 湖北省经济和信息化厅“科技副总”
- 武汉英才-产业领军人才
- 南太湖精英计划-领军型创业团队负责人

#### 教育经历

- 武汉工程大学，通信工程专业，本科
- 英国萨里大学，移动通信系统专业，硕士
- 英国萨里大学，电子工程专业，博士

#### 工作经历

- 英国萨里大学，5G创新研究中心，博士后
- 英国诺森比亚大学，计算机与信息科学系，讲师/高级讲师
- 英国兰卡斯特大学，计算机与通信系统学院，国际讲师
- 北京航空航天大学，交通科学与工程学院，教授
- 武汉大学，国家网络安全学院，教授

#### 职务任职

- 武汉大学，信息中心，副主任（挂职）
- 武汉大学，国家网络安全学院，网络空间安全系主任
- 武汉大学，国家网络安全学院，系统安全与可信计算所长

## 团队研究主题

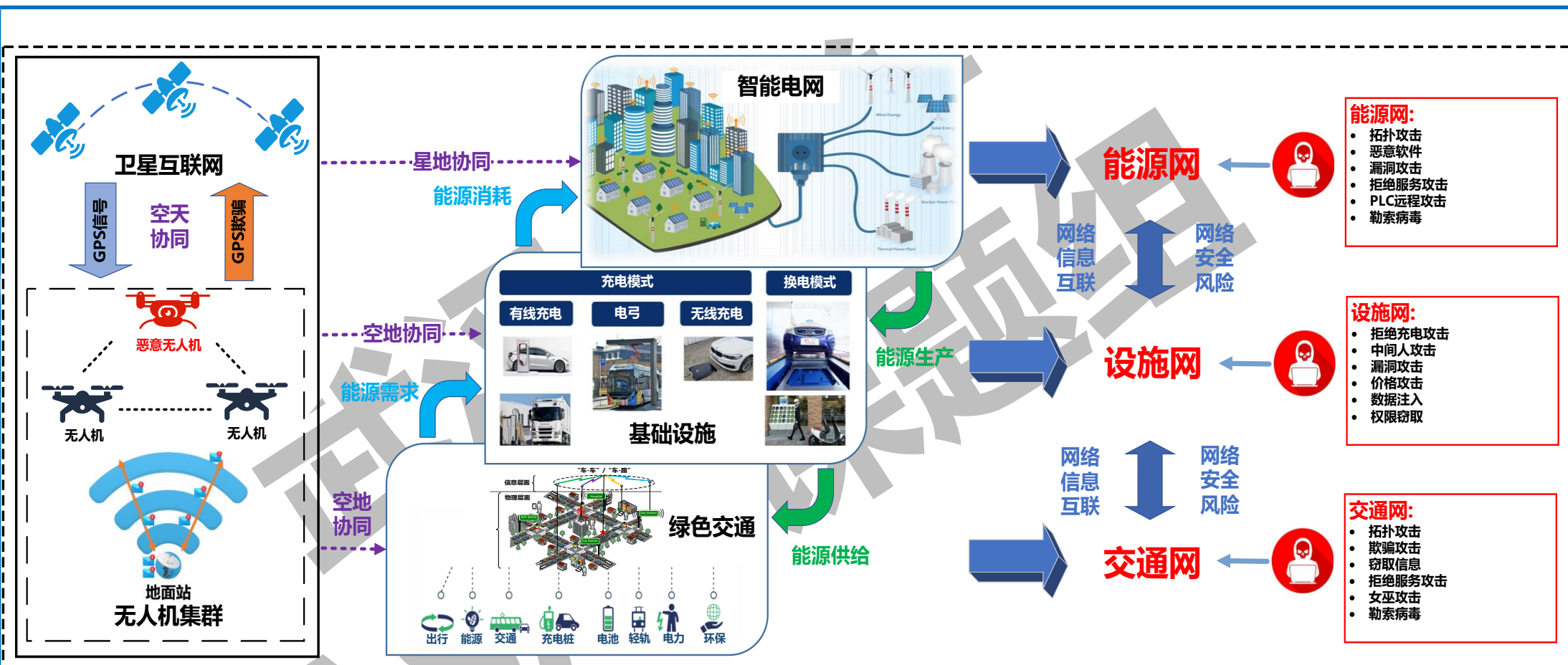
成员介绍

研究方向

科教育人

社会服务

国际合作



面向新型网络场景的  
**网络通信、决策优化、网络安全**交叉性研究

## 团队研究主题

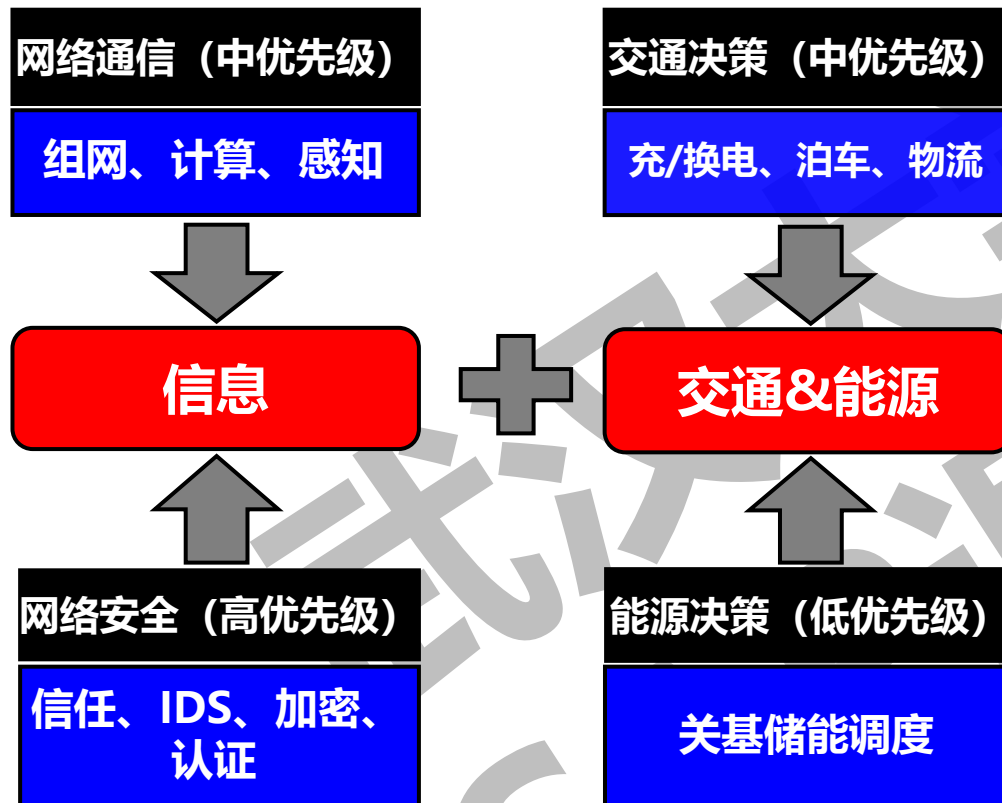
成员介绍

研究方向

科教育人

社会服务

国际合作



- 在读博士生: 12人
- 在读硕士生: 15人
- 已毕业: 博士5人、硕士17人

### 《中华人民共和国网络安全法》

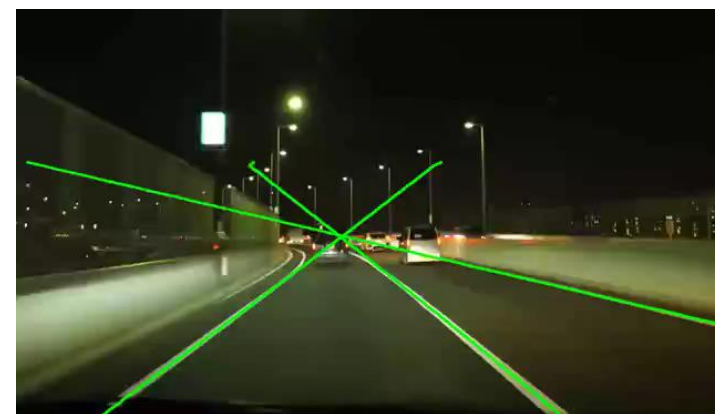
6月1日正式实施  
维护网络安全, 有法可依

### “网络空间安全” + “低空经济”

### “双碳” 国家战略



2023国家网安周-汽车数据安全分论坛的圆桌会议





## 研究团队平台及设备

成员介绍

研究方向

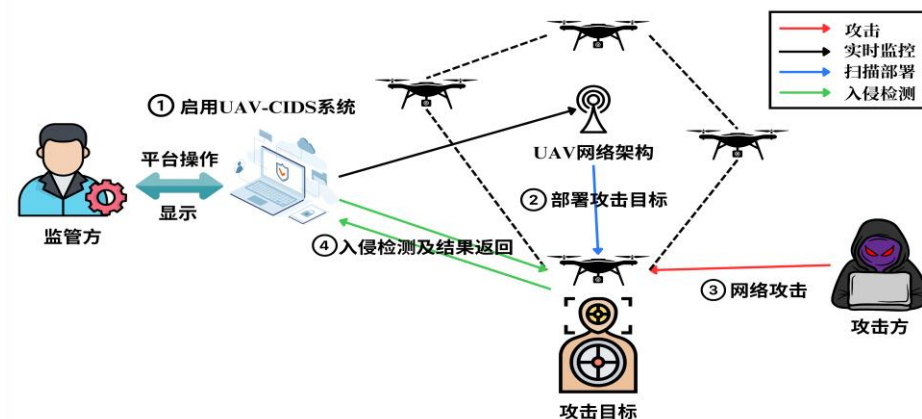
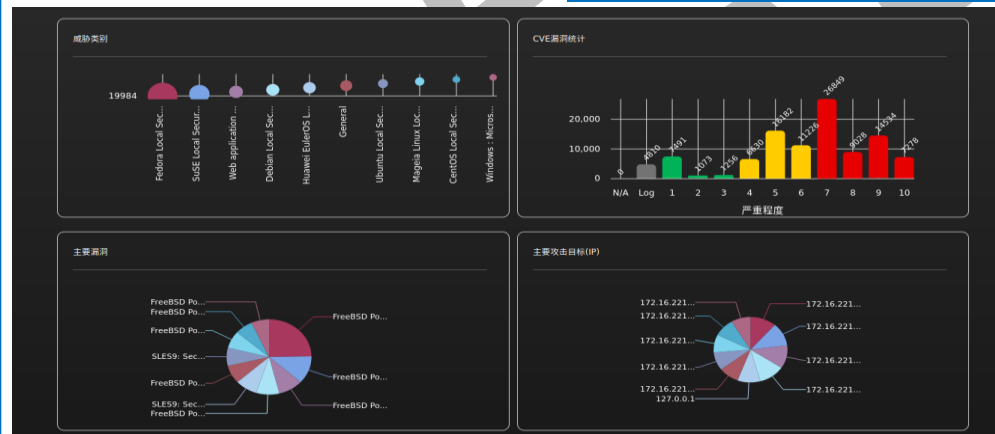
科教育人

社会服务

国际合作



## 无人机网络入侵检测系统



## 人才培养、科创实践

成员介绍

研究方向

科教育人

社会服务

国际合作

## 培养硕士、博士毕业生

1. 入选国家优秀自费留学生奖学金 (2023)
2. 入选泰山学者-青年专家 (2023)
3. 入选滴滴未来精英 (2024)
4. 入选中国科协托举博士专项 (2024)
5. 入选宝钢优秀学生奖学金 (2024)



## 科创竞赛

1. 2025-2026, 网络安全学院学生创新资助计划-基于溯源图的APT攻击检测方法研究 (指导老师)
2. 2025-2026, 网络安全学院学生创新资助计划-基于大模型对网络告警进行研判 (指导老师)
3. 2025, 第十一届全国青年科普创新实验暨作品大赛 (湖北赛区) - 创意作品二等奖 (优秀指导教师奖) / 全国总决赛-创意作品三等奖 (指导老师)
4. 2025, 国家级创新训练项目-基于过滤模型和深度学习模型的CAN总线入侵检测系统 (指导老师)
5. 2024-2025, 网络安全学院学生创新资助计划-基于深度学习神经网络技术的DDOS检测方法研究 (指导老师)
6. 2024, 国家级创新训练项目-重点培育项目-基于混合异构模式的能源共享优化方法研究 (指导老师)
7. 2022, 国家级创新训练项目-基于地理信息融合的车联网信息安全系统研究 (指导老师)
8. 2021, 第七届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛-产业命题赛道湖北省铜奖 (指导老师)
9. 2021, 第四届“东风梦想车”中国青年汽车创意设计大赛-华中赛区优秀奖、最佳人气奖 (指导老师)

## 教育信息化、教学获奖

成员介绍

研究方向

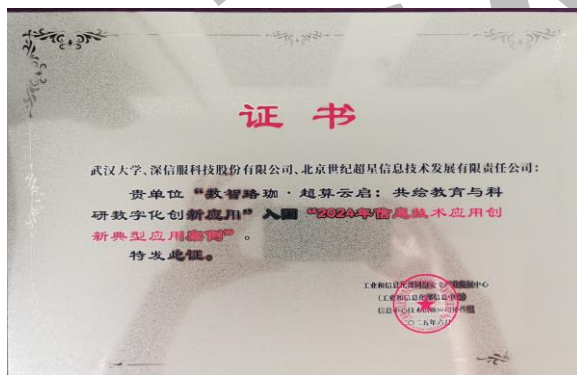
科教育人

社会服务

国际合作

### 教育信息化

1. 2025, 《数智珞珈·超算云启：共绘教育与科研数字化创新应用》，工业和信息化部2024年信息技术应用创新解决方案
2. 2024, 《面向信创生态的珞珈云平台创新实践案例》，教育信息技术应用创新大赛“基于信创环境的创新实践”赛项全国二等奖
3. 2025, 教育信息化：武汉大学数智珞珈：信创升级热潮下的高校典型示范
4. 2025, 《5G/5G-A专网赋能垂直行业及智慧运营白皮书》
5. 2025, 《5G/5G-A专网赋能垂直行业及智慧运营案例集》
6. 2024, YD/T 3758 13-2024, 电信数据服务平台 第13部分：高校校园管理应用技术要求



### 教学获奖

1. 2025, 全国高校计算机网络教学暨网络工程专业建设研讨会-优秀论文一等奖
2. 2025, “三驱动·三促进·三协同”网络安全拔尖人才贯通式培养体系创新与实践, 电子学会电子信息教学成果大赛三等奖
3. 2025, 中国高校计算机教育大会-优秀论文二等奖
4. 2024, 第六届全国高校混合式教学设计创新大赛优胜奖
5. 2024, 中国计算机教育大会-计算机类教学和实验案例一等奖
6. 2024, 全国高校计算机网络教学案例大赛-三等奖
7. 2024, 全国高校计算机网络教学暨网络工程专业建设研讨会-优秀论文二等奖
8. 2024, 中国高校计算机教育大会-优秀论文一等奖
9. 2023, 湖北省高校教师教学创新大赛三等奖

## 学术服务

成员介绍

研究方向

科教育人

社会服务

国际合作



## IEEE Outstanding Service Award

Prof. Yue Cao  
Wuhan University, China  
as  
Workshop Chair

of the 3rd International Workshop on AI-driven Network co-located with the 20th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (IEEE TrustCom 2021) held on 20-22 October, 2021, Shenyang, China

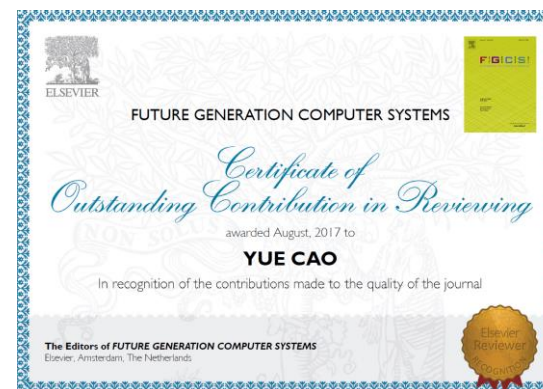
IEEE TrustCom 2021 General Chairs  
Albert Zomaya, The University of Sydney, Australia  
Prosanta Gope, University of Sheffield, UK  
Xiaoping Sun, Shenyang Aerospace University, China



## 国际会议杰出服务奖



## 国内外期刊杰出审稿人奖



## 科学普及

成员介绍

研究方向

科教育人

社会服务

国际合作



2022-2023年，受大众（中国）&中国教育发展基金会邀请，武汉地区开展公益科普课程



2023年，受东湖论坛-智能网联汽车科技创新与科学普及论坛邀请，开展公益科普活动



2024年，受中国科协青少年高校科学营（武汉大学）分营邀请，开展公益科普活动



2024年，受邀参加武汉“名家论坛”，开展国家安全教育日专题讲座活动



2024湖北国家网安周特邀报告



2024年，受邀参加IEEE VTS活动，开展智能交通信息安全专题科普活动

## 国际合作国别

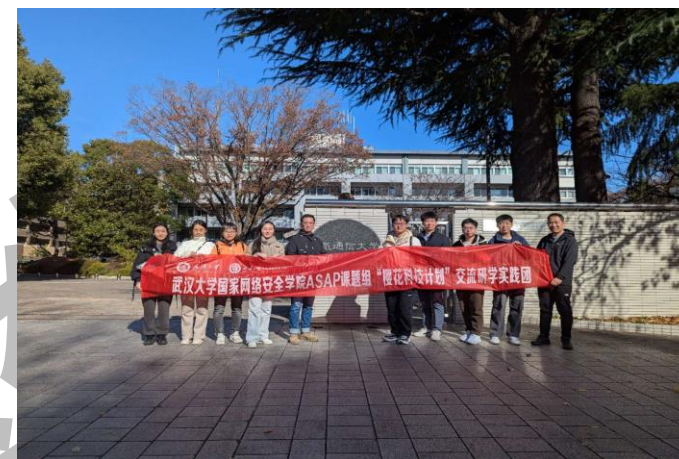
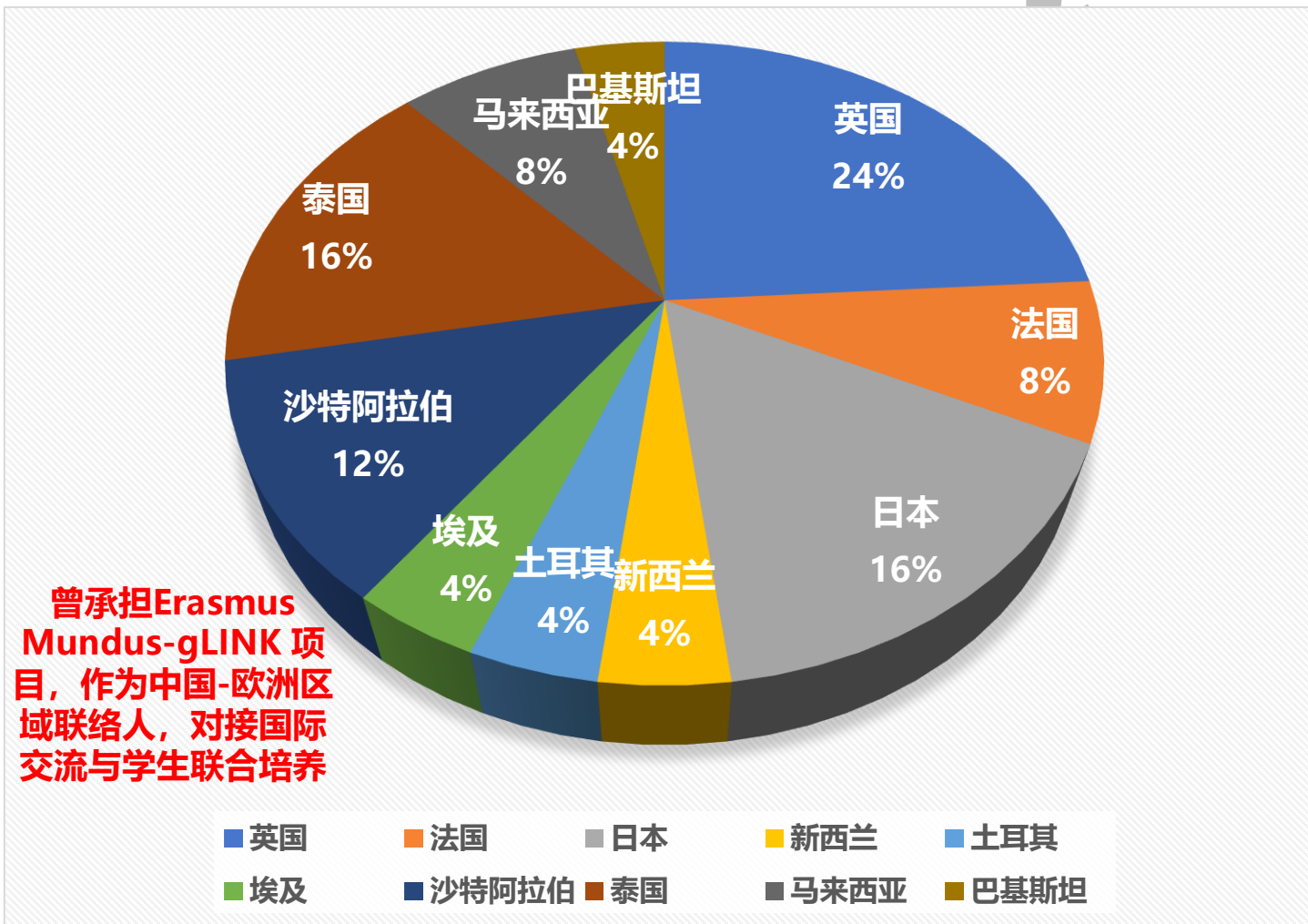
成员介绍

研究方向

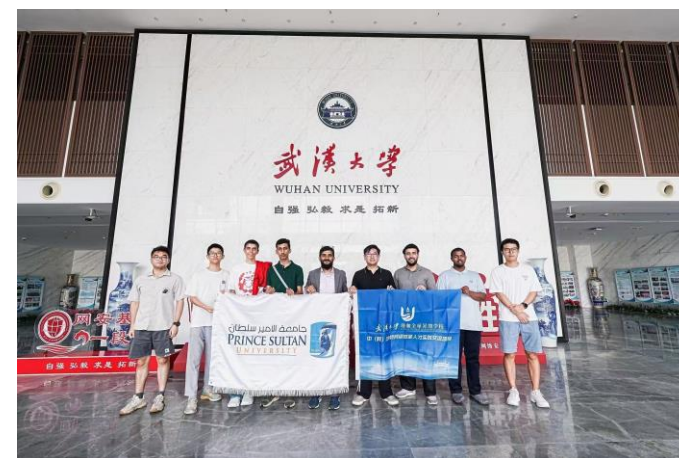
科教育人

社会服务

国际合作



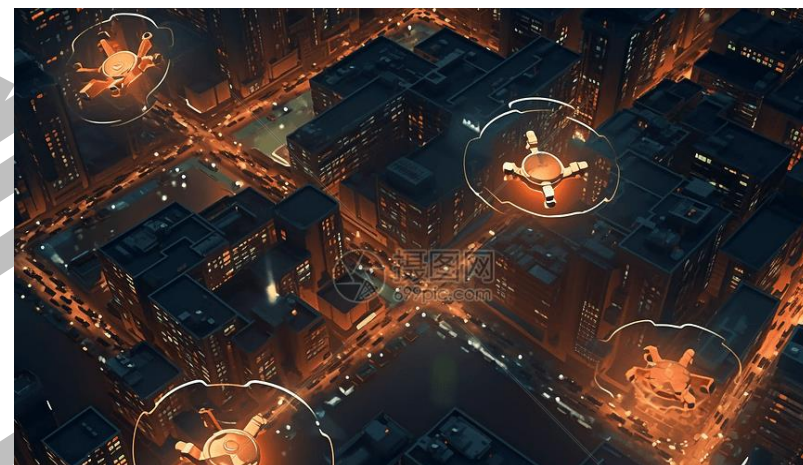
2024科技部樱花科技计划（日本）



2025人社部国际青年人才来华交流项目（沙特阿拉伯）



车联网数据传输、智能计算、环境感知



无人机网络数据传输、环境感知



铁路网络智能计算



卫星网络数据传输

## 课题方向：高速移动网络数据传输

数据传输

智能计算

环境感知

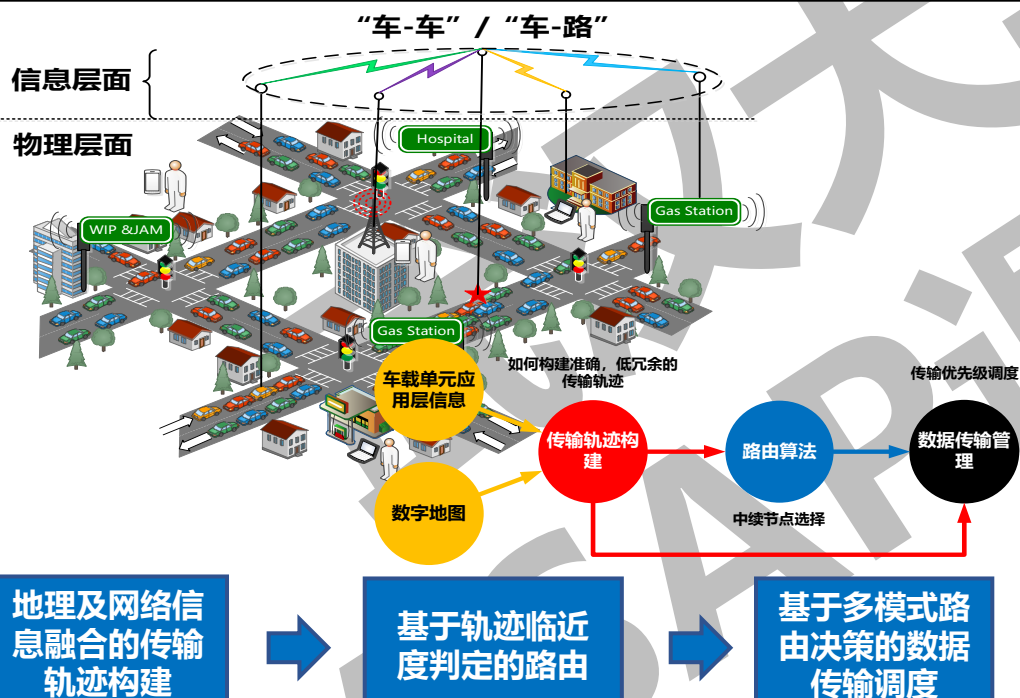
问题

- 数据交互不确定、易间断
- 网络实体强移动、拓扑不稳定

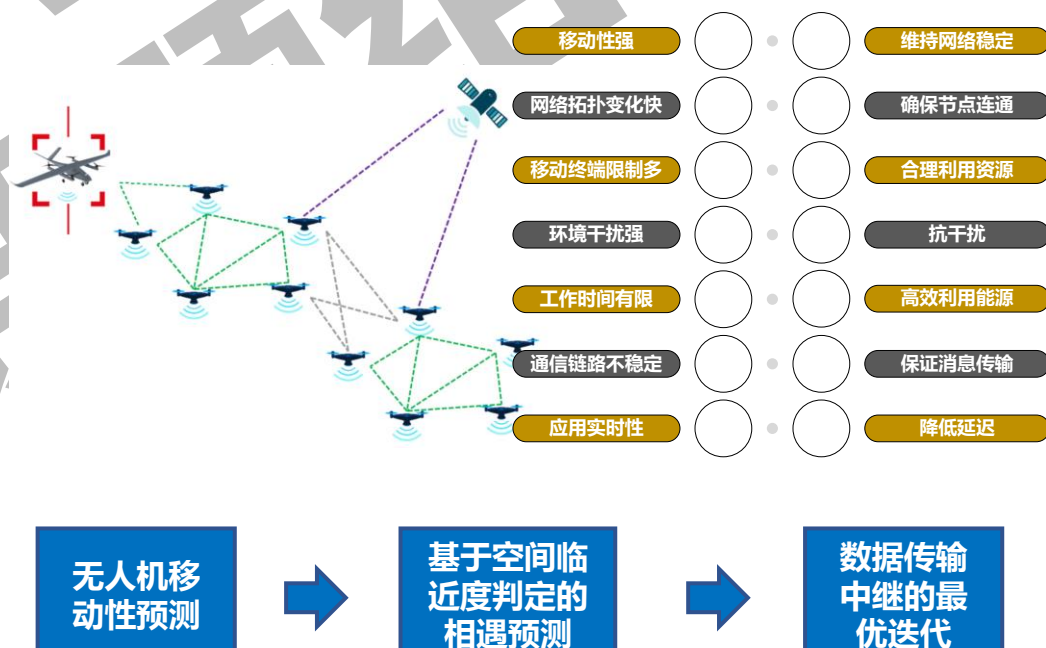
思路

- 网络实体移动性预测，基于空间关系的交互预测
- 基于地理信息代替网络拓扑的网络交互图生成

### 基于轨迹预测的机会网络路由方法

**高可靠低开销的车联网数据传输**

### 基于代理转发的地理信息路由方法

**高可靠低开销的无人机网络数据传输**论文1: A Trajectory-Driven Opportunistic Routing Protocol for VCPS. **IEEE TAES 2018**论文2: A Reliable and Efficient Geographic Routing Scheme for Delay/Disruption Tolerant Networks. **IEEE WCL 2013**

## 课题方向：“双智”网络融合数据传输

数据传输

智能计算

环境感知

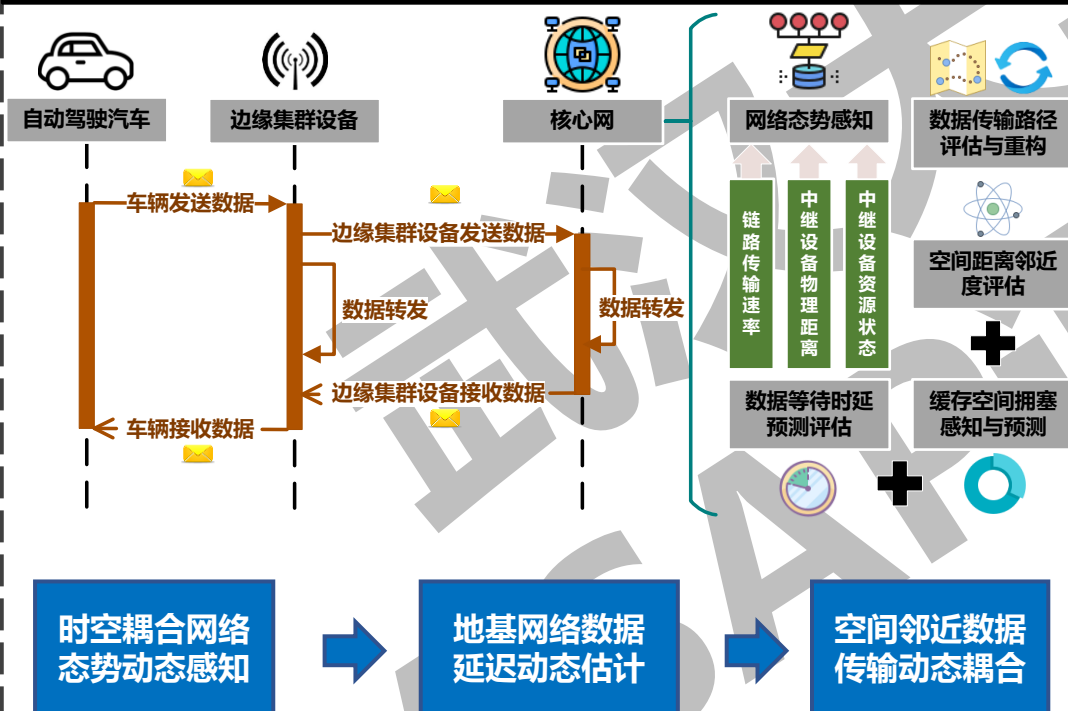
问题

- 车网间路由独立、组网策略不互补
- 车网间状态不共享、资源互利用差

思路

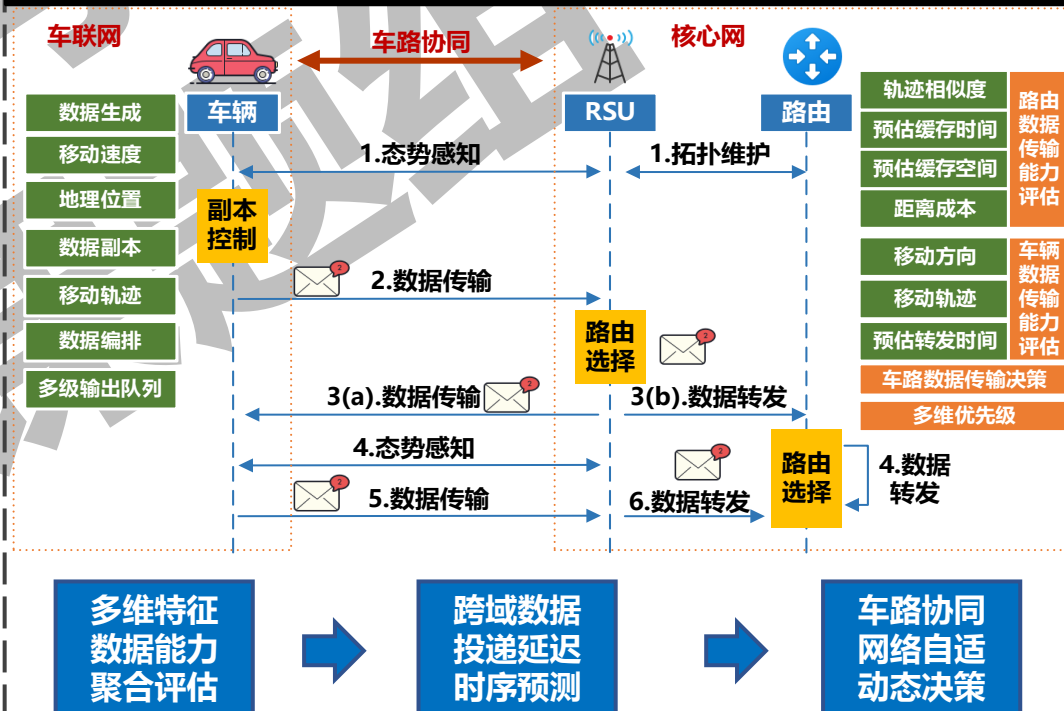
- 网络时空态势感知，动态负载均衡
- 数据多维优先级评估，车路协同网络自适应决策

## 基于SDN的时空域自主负载均衡路由协议



高可靠低延迟的轻量化网络融合

## 基于多维优先级的车路协同路由协议



高可靠低延迟的拥塞避免车路协同

论文1: STALB: A Spatio-Temporal Domain Autonomous Load Balancing Routing Protocol. IEEE TNSM 2023

论文2: MP-VRCR: A Multi-dimension and Priority-based Vehicle-Road Collaborative Routing Protocol. IEEE TVT 2023

## 课题方向：星地网络融合数据传输

数据传输

问题

- 前期研究侧重聚焦物理层通信技术
- 针对卫星互联网场景的技术梳理较为欠缺

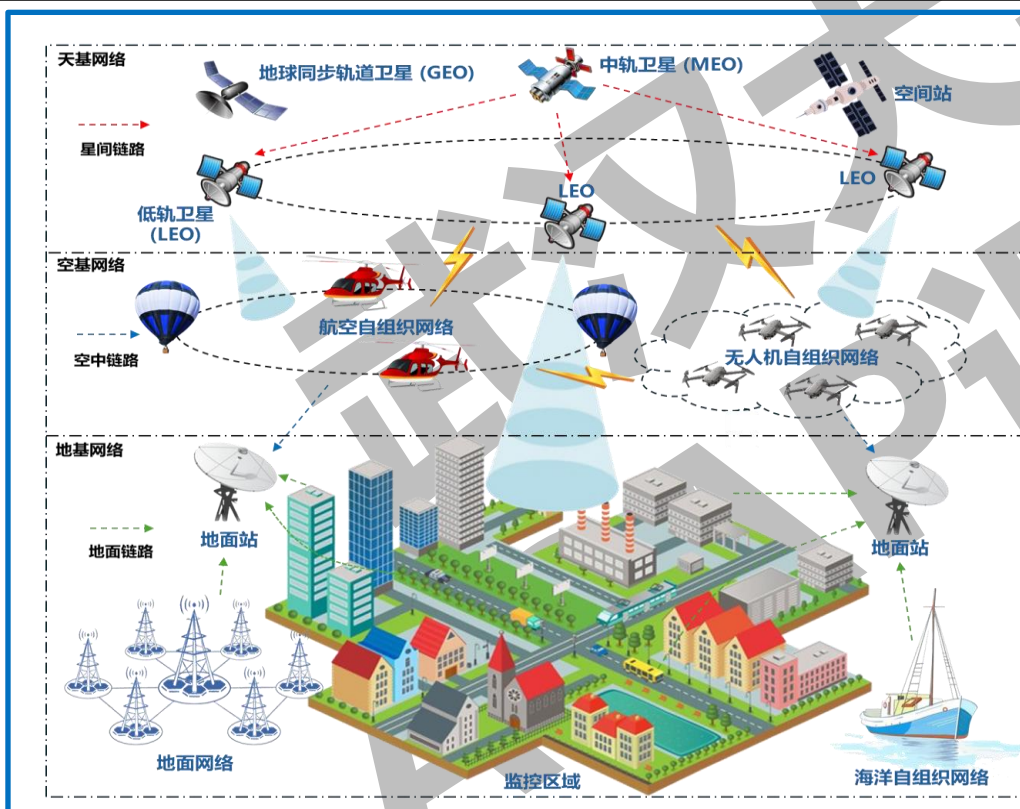
思路

- 拓扑管理，星间路由，星座管理技术梳理
- 应用场景，仿真平台，数据集资源梳理

智能计算

环境感知

### 依据网络服务流的星地融合网络核心技术多关键维度归类分析



回顾和总结现有研究，确定未来研究的潜在方向，探索与其他领域结合的机会

## 课题方向：星地网络融合数据传输

数据传输

智能计算

环境感知

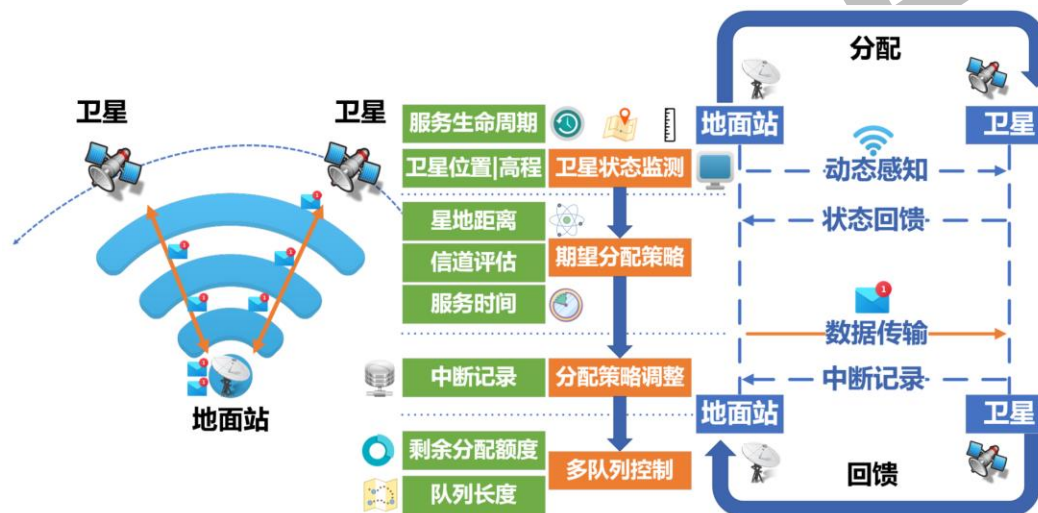
问题

- 星地拓扑频变、链路切换不稳定
- 星地相互状态不共享、信息不对称

思路

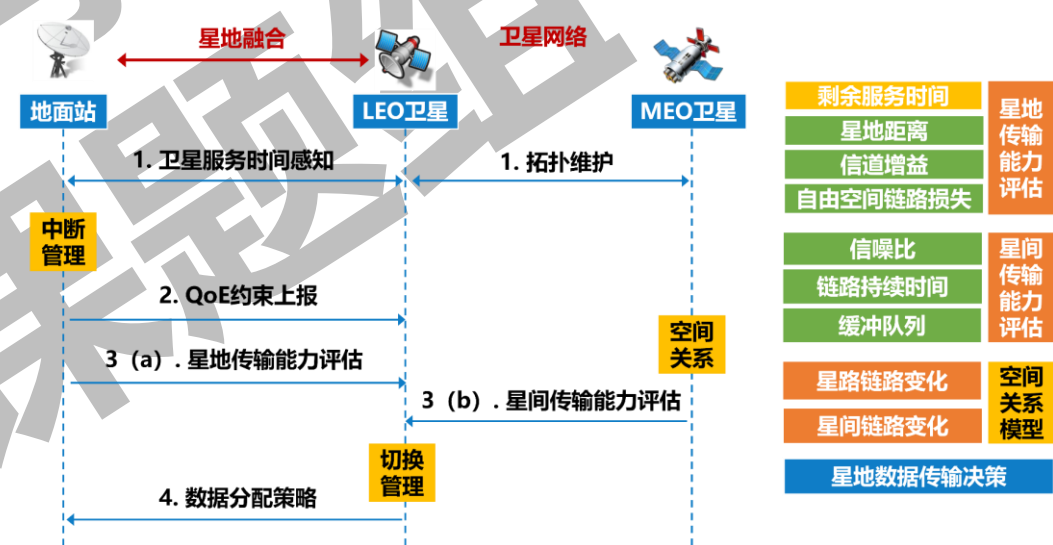
- 星地态势感知服务能力预测与数据动态分配
- 面向服务区分的QoE约束优化决策

## 基于信道感知的星地无缝链路切换技术

态势感知星地  
信道动态估计时空耦合服务  
能力可信预测信誉闭环星地  
链路无缝切换

高可靠、低延迟、低中断率的数据投递

## 基于QoE驱动的星地融合数据分配

移动特征  
动态感知  
拓扑维护区分服务  
弹性约束  
编排传输星地融合  
信息博弈  
决策优化

高可靠、低延迟的卫星切换与数据分配

论文1: A Channel Perceiving-based Seamless Handover in Space-ground Integrated Information Network. IEEE TNSM 2024

论文2: 基于信道建模的多层星地融合数据分配策略. 通信学报 2024 湖北省科协优秀科技论文

## 课题方向：车载边缘智能计算

数据传输

智能计算

环境感知

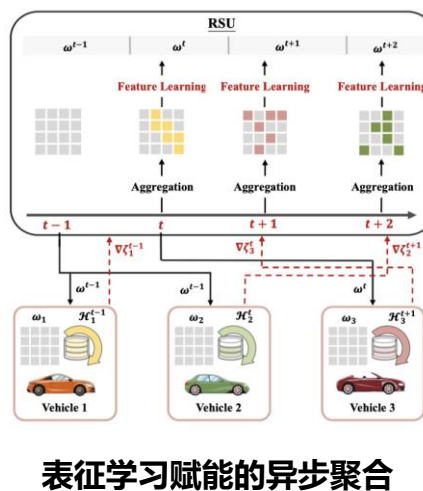
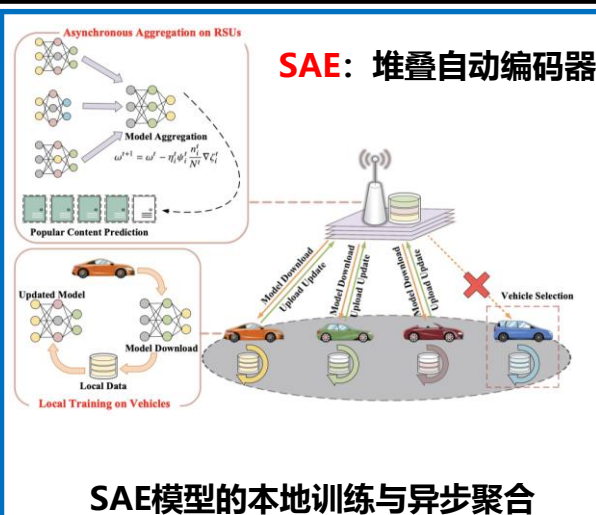
问题

- 内容流行度不定、车辆移动性影响模型同步
- 高维时变特征导致决策优化效率低

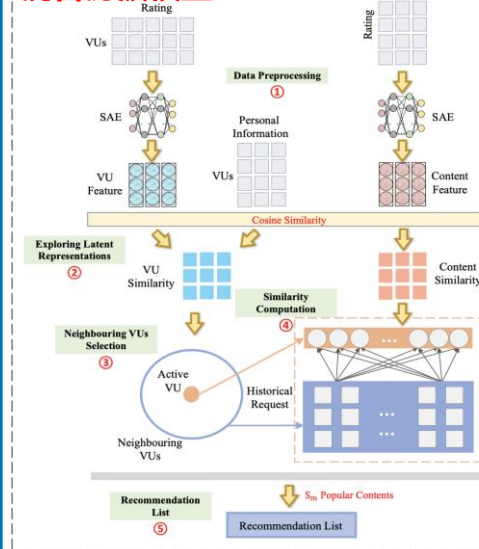
思路

- 基于联邦学习的内容预测，适应内容需求变化
- 强化学习驱动的边缘缓存，提升缓存管理效率

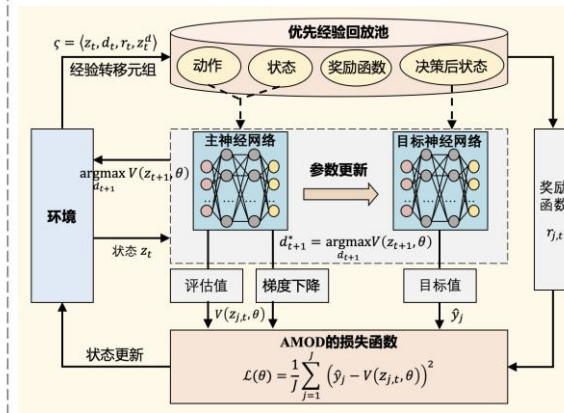
## 基于异步联邦和强化学习的移动感知边缘缓存



## 混合滤波模型



## 基于内容预测结果执行智能缓存决策

训练及优化异步  
联邦学习框架构建用于内容预测  
的混合滤波模型制定强化学习驱动  
的缓存策略

提升热门内容预测精度，促进边缘缓存效率

论文 1: Asynchronous Federated and Reinforcement Learning for Mobility-Aware Edge Caching in IoVs. IEEE IoTJ 2024

论文 2: 车联网边缘智能：概念、架构、问题、实施和展望. 物联网学报 2023 《物联网学报》优秀论文奖

## 课题方向：视频边缘智能处理

数据传输

智能计算

环境感知

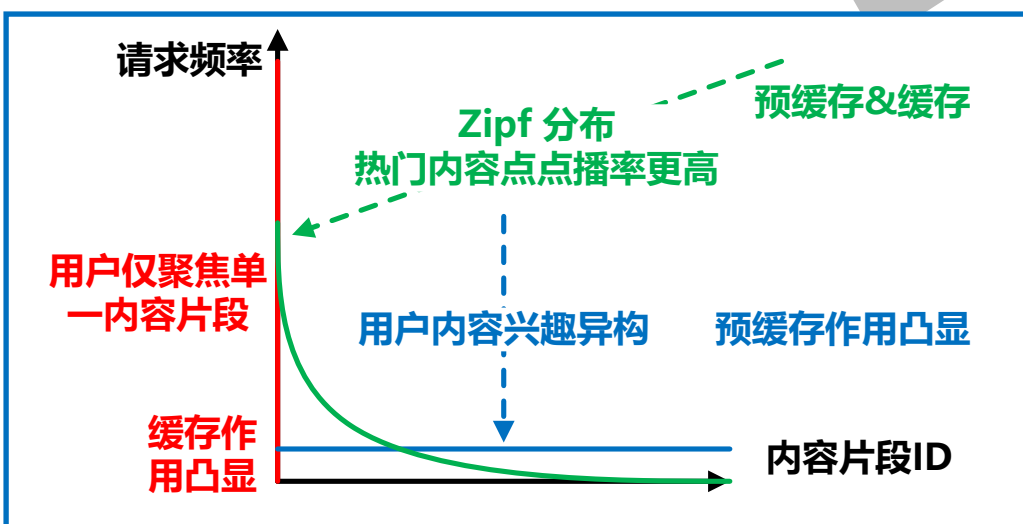
### 问题

- 移动环境下视频流媒体体验不佳
- 高移动场景下通信带宽时变、不稳定

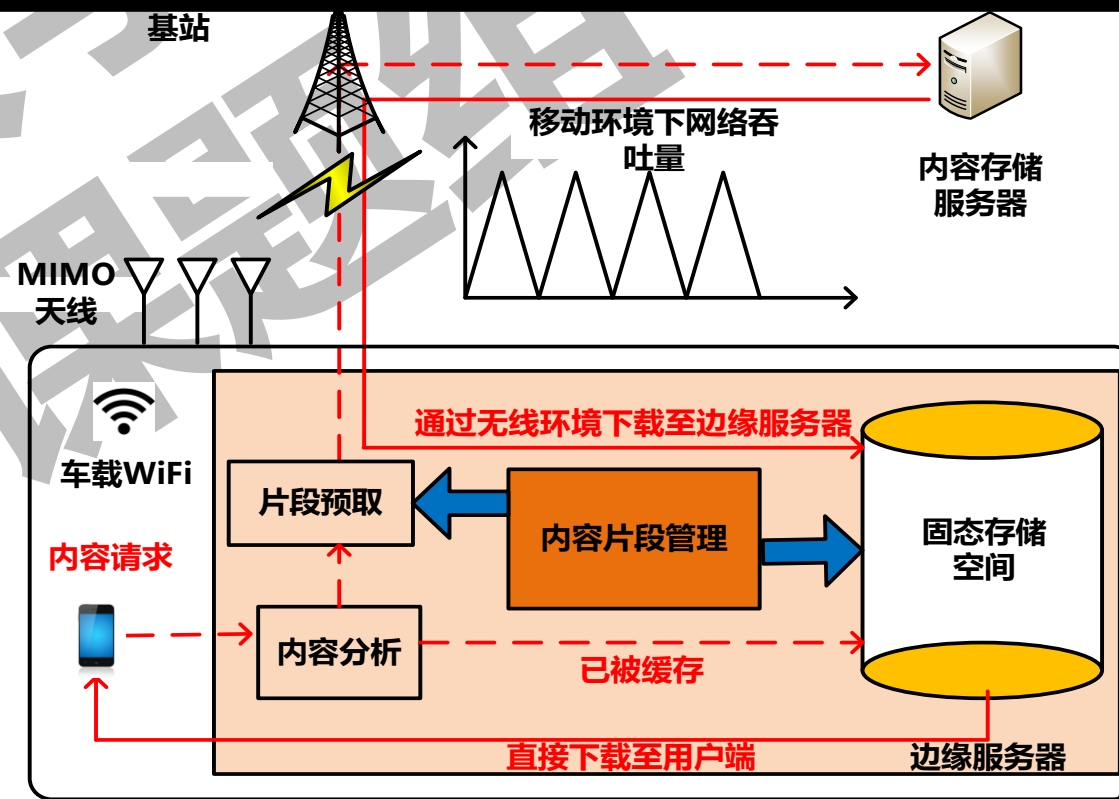
### 思路

- 无线通信带宽预测，适应内容管理需求
- 针对视频内容的预缓存、缓存决策的协同

### 基于移动边缘的内容缓存及预取综合优化



无线通信带宽预测

内容解析决策  
(预缓存/缓存)基于流行度的  
存储空间管理**提升热门内容预测精度，促进边缘缓存效率**

论文1: Enhancing Video QoE Over High-speed Train Using Segment-based Prefetching and Caching. **IEEE Multimedia** 2019年度IEEE计算机学会最佳论文奖 (全球11+7篇)

论文2: Online Scheduling Unbiased Distributed Learning over Wireless Edge Networks. **IEEE ICPADS 2021** IEEE ICPADS最佳论文奖 (大会唯一)

## 课题方向：智能交通运力共享

数据传输

智能计算

环境感知

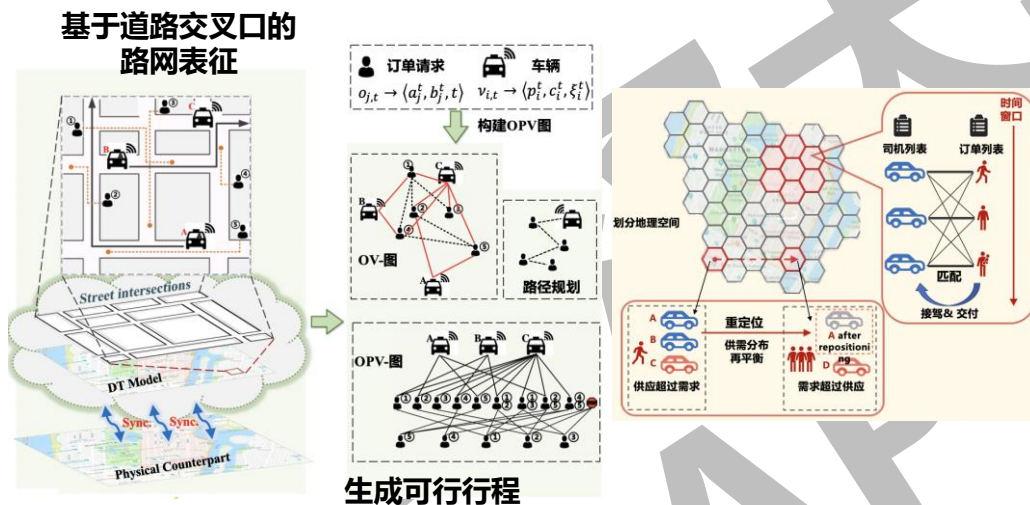
## 问题

- 拼车环境高度随机，订单响应慢
- 模型训练复杂，决策适应性及鲁棒性差

## 思路

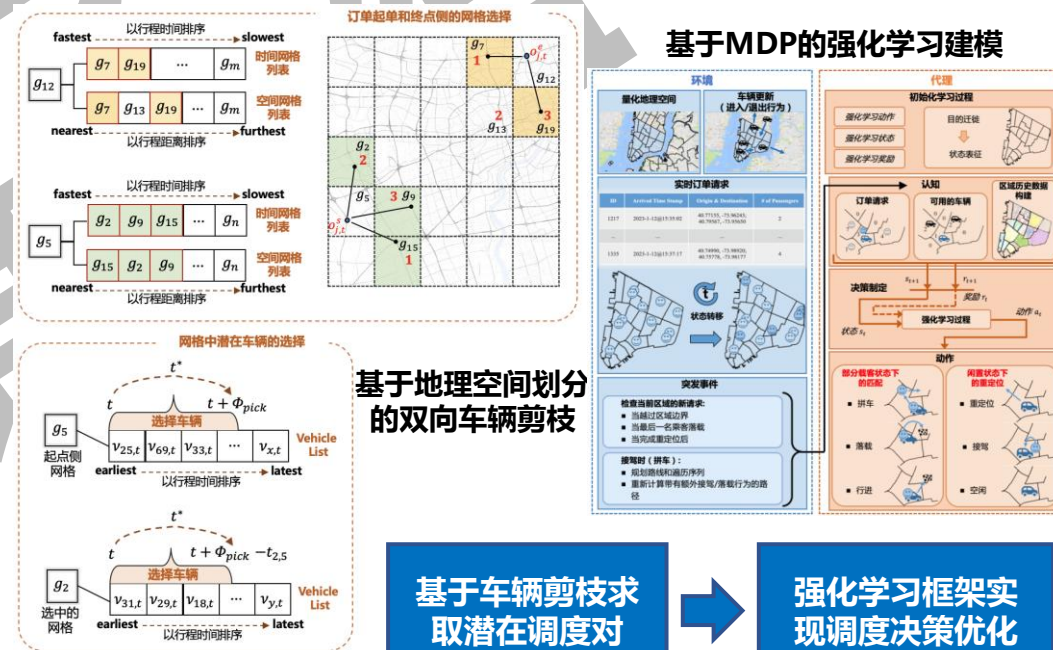
- 基于近似动态规划的拼车订单匹配
- 基于双向剪枝及强化学习的车辆调度

## 基于近似动态规划的拼车订单匹配

基于图论的可  
行行程生成基于神经网络的参数  
逼近，实现订单匹配闲置车辆的重  
定位

设计自适应的订单匹配系统，优化车辆重定位

## 基于双向剪枝和强化学习的拼车车辆调度

基于车辆剪枝求  
取潜在调度对强化学习框架  
实现调度决策优化

基于潜在调度需求，设计实时车辆调度框架

论文 1: Adaptive Dynamic Programming for Multi-Driver Order Dispatching at Large-Scale. IEEE TCCN 2024

论文 2: Deep Reinforcement Learning for Dual-Side Pruning-based Ride-sharing Vehicle Dispatching. Prepared for Submission

## 课题方向：车载边缘智能计算

数据传输

智能计算

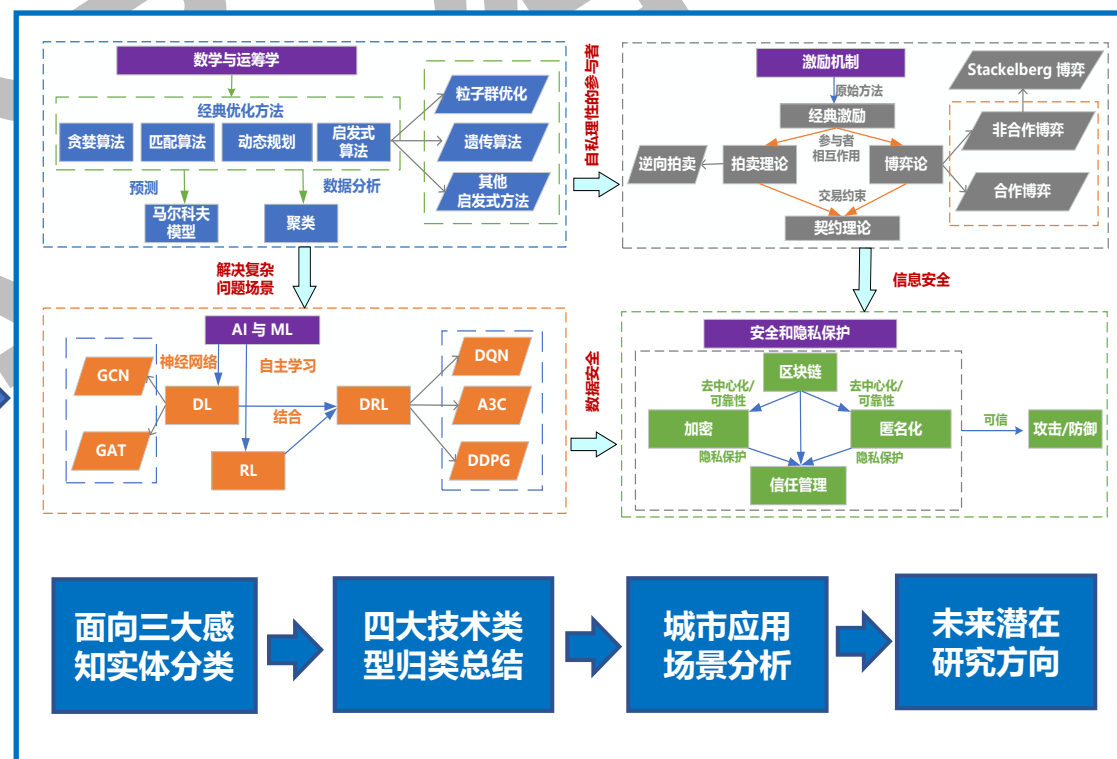
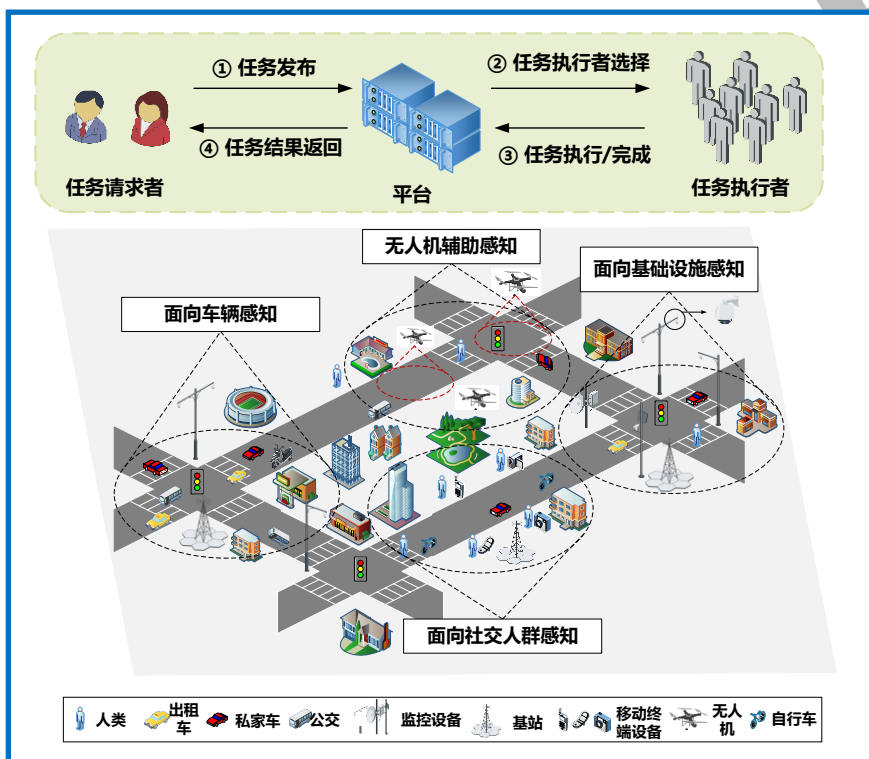
环境感知

## 问题

- 群智感知在智慧城市中应用广泛，缺乏系统性梳理
- 构建高效协同的城市感知体系缺乏系统性指导

## 思路

- 从城市中不同类型感知实体视角进行分类和归纳
- 基于四大技术角度对现有研究进行总结与分析



回顾和总结现有研究，确定未来研究的潜在方向，探索与其他领域结合的机会。

## 课题方向：智能交通群智感知

数据传输

智能计算

环境感知

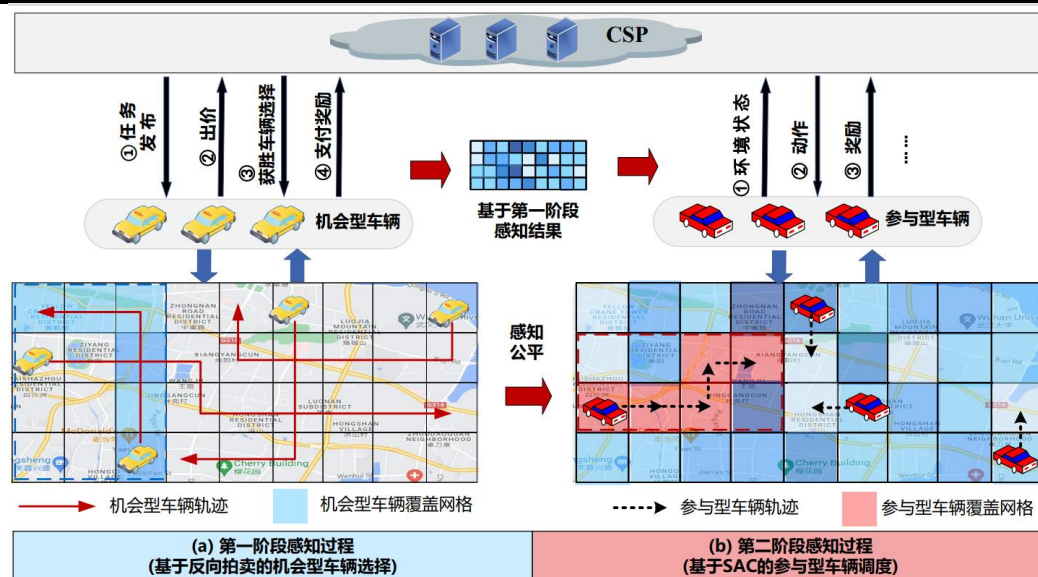
问题

- 难以利用不同类型感知车辆的特点
- 无法保证不同区域感知任务完成状况

思路

- 基于反向拍卖的机会型车辆选择，降低感知成本
- 激励驱动的参与型车辆轨迹调度，保证感知公平性

## 基于感知公平性的两阶段混合感知方法

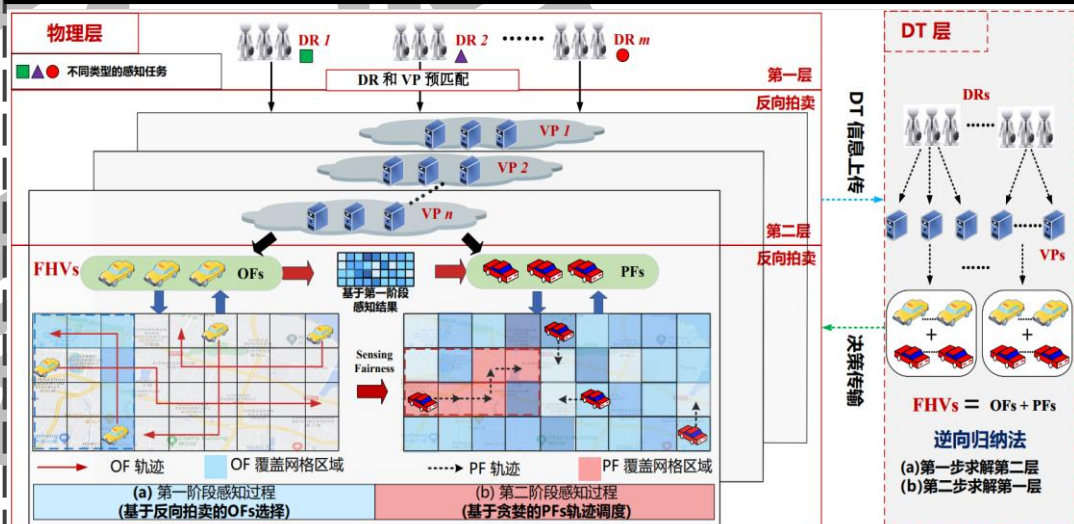


基于反向拍卖的机会型车辆选择

基于深度强化学习的参与型车辆轨迹调度

提升感知公平性，最小化车辆平台开销

## 面向多感知平台的数字孪生驱动的双层反向拍卖方法



请求者/异构平台匹配

三者间双层反向拍卖

两阶段混合车辆感知

数字孪生驱动逆向归纳

保证感知公平性同时，最小化参与个体开销

论文1: Fairness-aware Two-stage Hybrid Sensing Method in Vehicular Crowdsensing. IEEE TMC 2024

论文2: DRAM: Digital Twin-Driven Double-Layer Reverse Auction Method for Multi-Platform Vehicular Crowdsensing. IEEE TMC 2025

## 课题方向：智能交通目标检测

数据传输

智能计算

环境感知

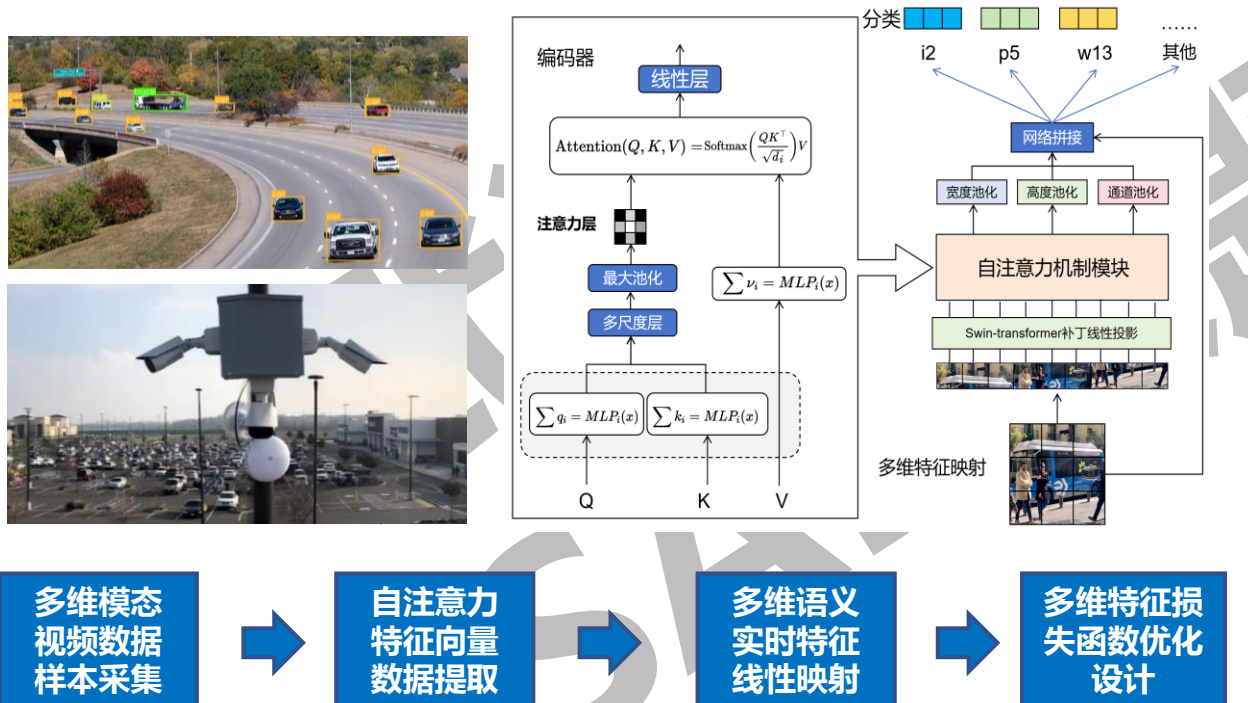
问题

- 驾驶场景交通标志识别效果不佳
- 无人机视角道路场景检测困难

问题

- 融合深度卷积模块与损失函数，构建目标检测系统
- 引入注意力机制，建立空中动态目标特征提取网络

## 基于Transformer的自动驾驶目标检测系统



设计多维特征提取模块，提升模型检测准确率

## 基于YOLO网络的无人机目标检测系统



设计轻量化特征提取模块，提升处理效率

## 网络通信相关支撑成果

### 荣誉奖项

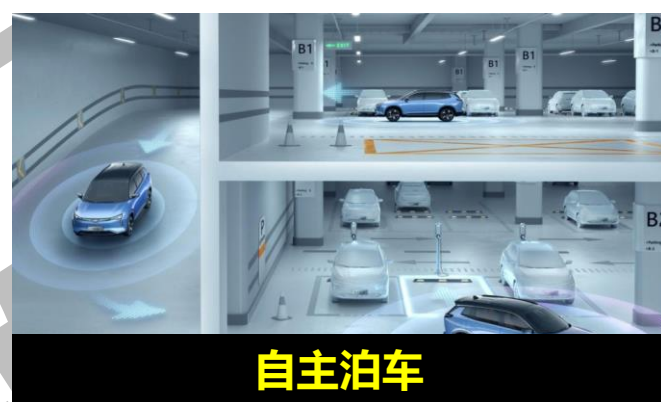
1. 2023, 中国商业联合会-全国服务业科技创新奖（一等奖）“面向人机物三元融合的云边协同资源调度关键技术及其应用”
2. 2022, 中国通信企业协会-ICT中国创新奖“基于多维可控的智能交通网联化管控运维创新技术与应用”
3. 2022, 中国国际大数据产业博览会-领先科技成果“泛在数据驱动的多模态智能交通创新应用”

### 学术专著

1. Tiancheng Li, Junkun Yan, **Yue Cao** and Javier Bajo. “Intelligent Sensors for Positioning, Tracking, Monitoring, Navigation and Smart Sensing in Smart Cities” . **MDPI Book**, March, 2021.
2. 赵俊渥, 温淼文, 赵楠, 王朝伟, **曹越**, 徐乐西. “新质生产力-数字经济发展新动能” . **人民邮电出版社**, April, 2024.
3. Yongdong Zhu, **Yue Cao\***, Wei Hua and Lexi Xu. “Communication, Computation and Perception Technologies for Internet of Vehicles” . **Springer**, December, 2023.

### 标准规范

1. YD/T 3758.12-2024, 电信数据服务平台 第12部分: 预警救灾应用技术要求 (2024)
2. 2024, 《面向6G的多维融合的数据编织技术演进》白皮书
3. 2024, 《5G/5G-A专网智能优化及运营白皮书-新质生产力赋能5G/5G-A专网运营》白皮书
4. 2023, 《面向制造业的5G专网运营白皮书》**人民邮电报报道 (2023)**



## 课题方向：信息化智能充电服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

### 新能源汽车产业需求及发展历程



里程

价格

充电

便利

电桩布局

连通性+可用性

运营模式管理

信息 + 交通&amp;能源

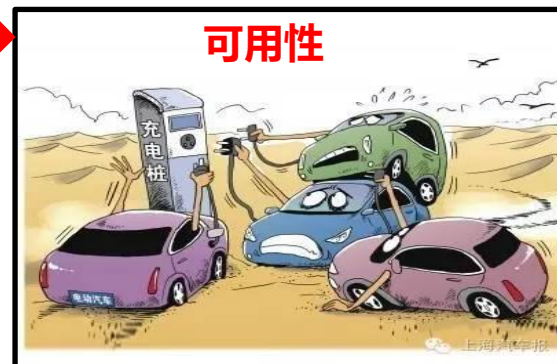
连通性

电动车



找桩

可用性



用桩

## 课题方向：信息化智能充电服务管理

智能充电

问题

- 充电需求时空并发、设施服务能力有限
- 交通态势随机，导致车辆移动不确定性

思路

- 基于排队论进行充电桩服务状态估计
- 信息互联范式驱动充电服务预约更新

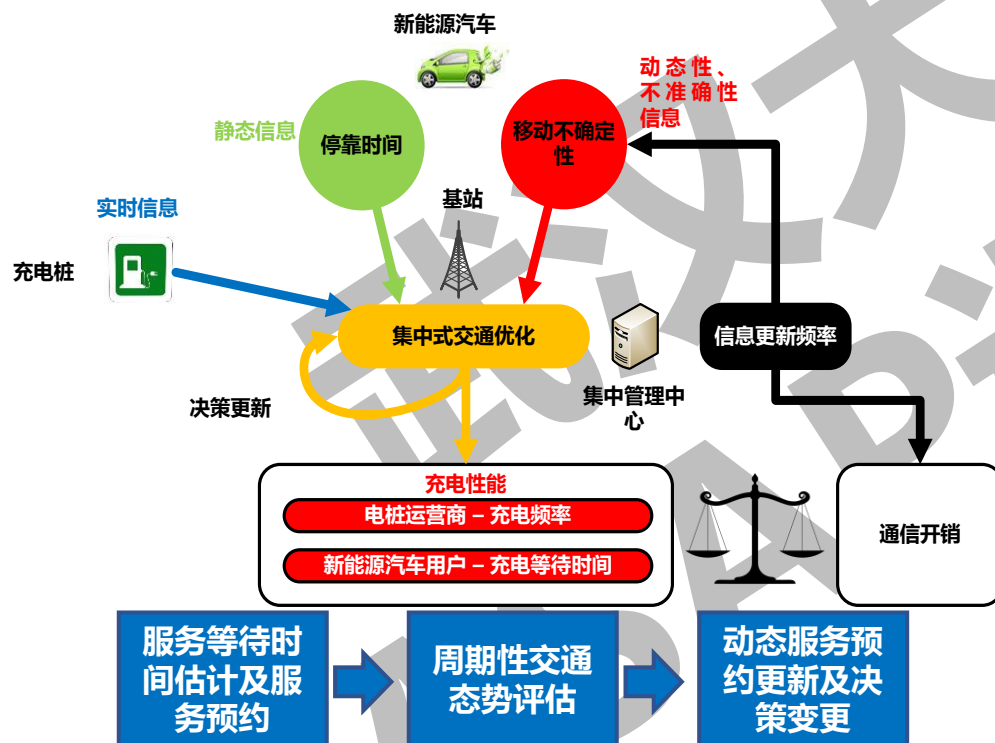
智能换电

电能共享

自主泊车

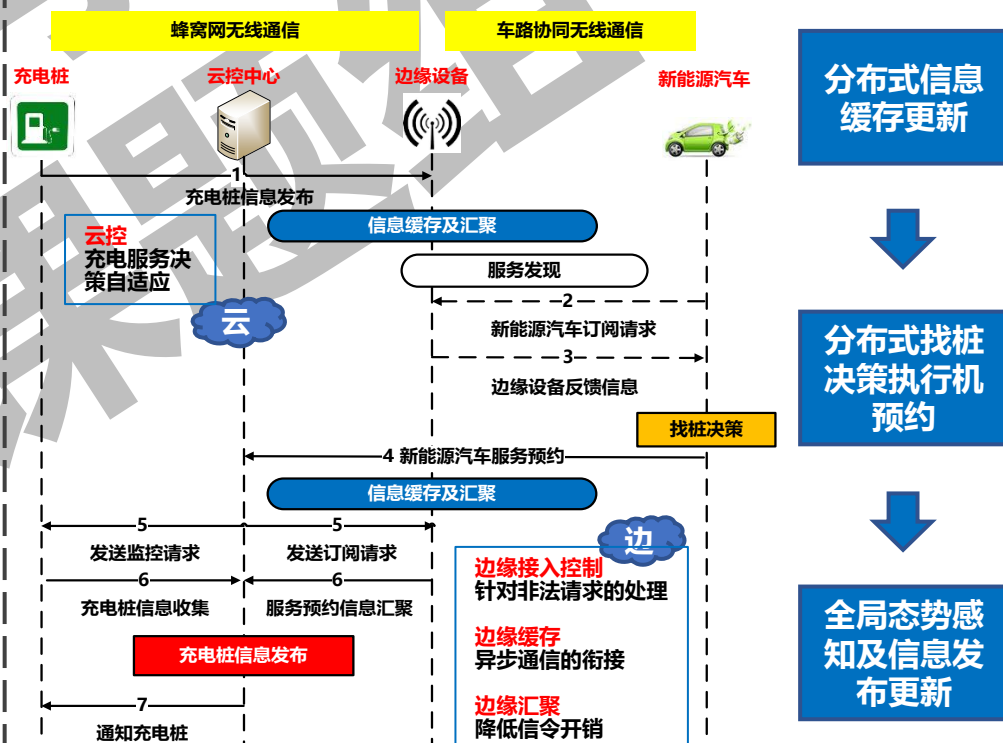
低空物流

### 基于交通态势解析的动态充电服务预约更新



交通拥堵导致通行不确定条件下，降低充电等待时间

### 基于车联网互联范式的充电服务优化



信息互联低开销保障前提下，协同优化充电服务

论文1: Towards User-friendly Energy Supplement Service Considering Battery Degradation Cost. IEEE TSMC: Systems 2018

论文2: A Coordinated Battery Swapping Service Management Scheme Based on Battery Heterogeneity. IEEE TVT 2017

## 课题方向：信息化智能换电服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流



- 建站成本低，短期更为可行
- 慢充等待时间长
- 快充电池损害高



- 前期投入成本高
- 极大地缩短服务等待时间
- 电池统一维护，延长使用寿命
- 根据电网负载，动态调整电池充电，实现削峰填谷

**中国工程院院士 孙逢春：换电将来会是能量补充主要的技术路线之一**

## 课题方向：信息化智能换电服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

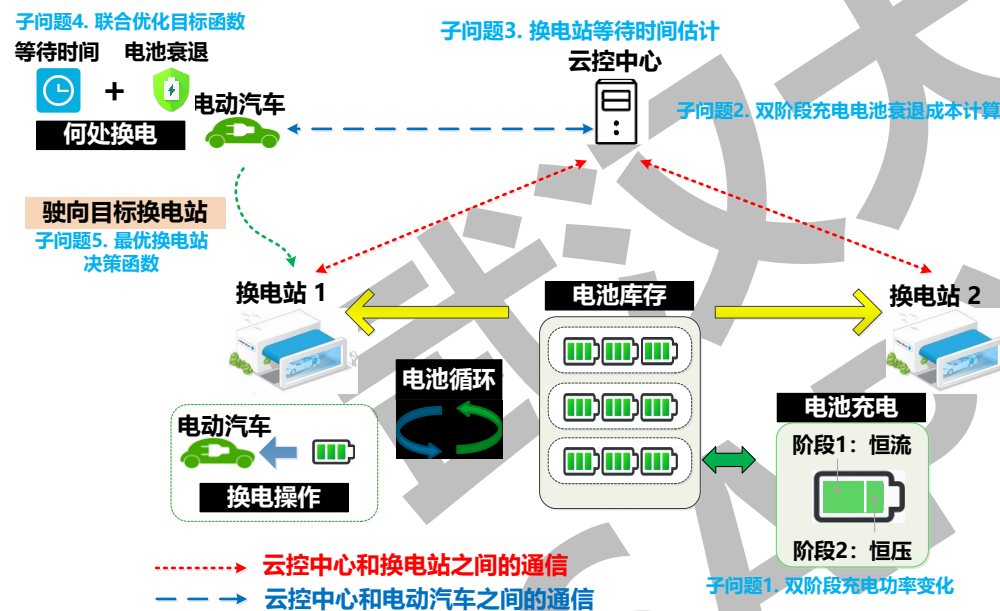
## 问题

- 电池衰退成本建模少、刻画难
- 换电需求不统一、管理复杂

## 思路

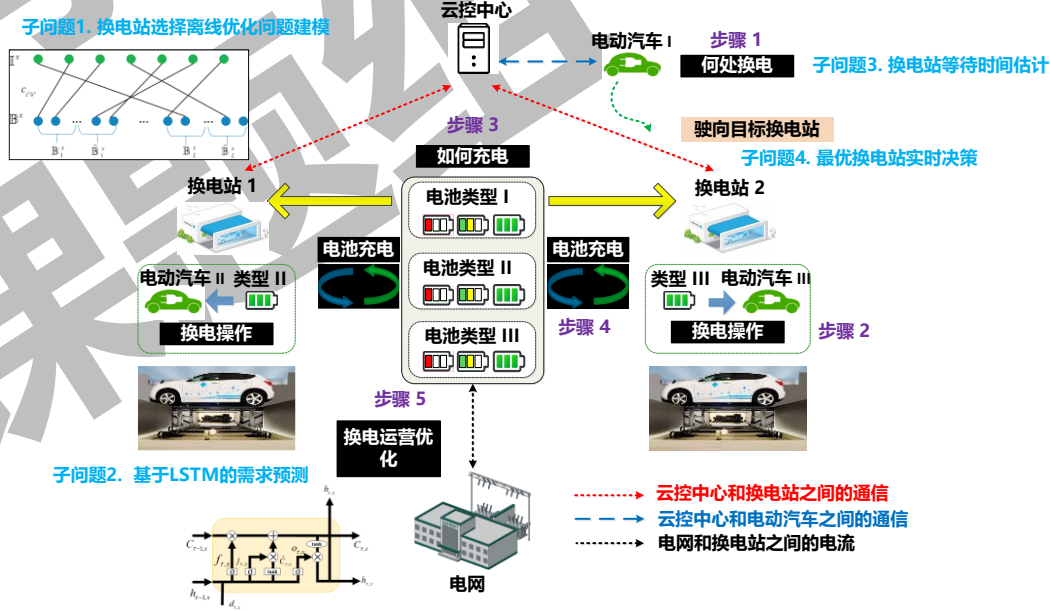
- 基于电池衰退成本的多队列动态更新
- 基于空时域协同的实时多目标联合优化决策

## 基于电池退化成本估计的换电服务优化



用户服务满意度保证前提下，降低电池退化成本

## 基于电池异构分布的换电服务协同优化



平衡电池充电优先级，协同优化空时域服务需求

论文1: Towards User-friendly Energy Supplement Service Considering Battery Degradation Cost. Elsevier Energy 2022

论文2: A Coordinated Battery Swapping Service Management Scheme Based on Battery Heterogeneity. IEEE TTE 2023

## 课题方向：“车-车”互充电能交互服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

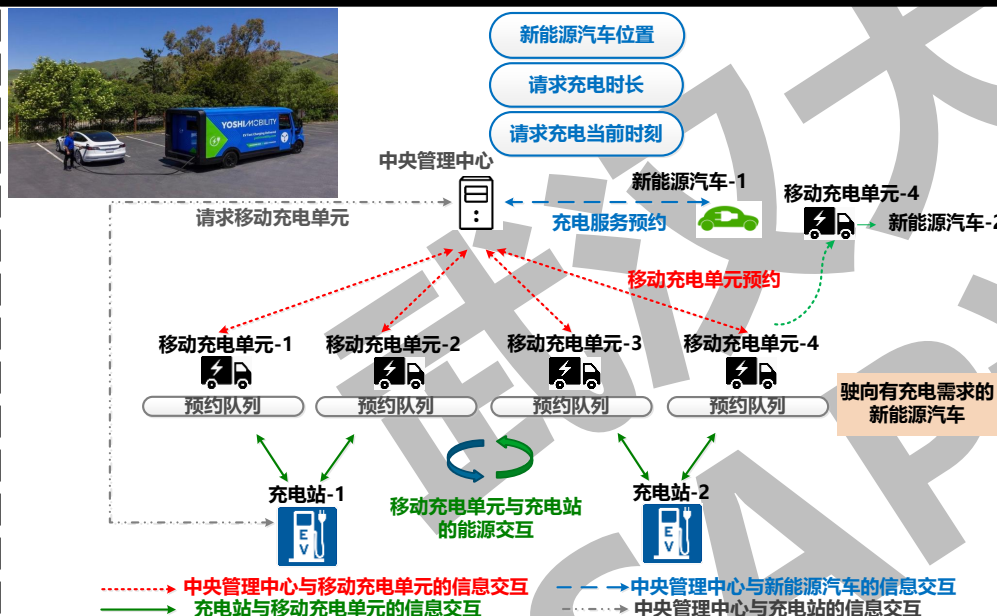
问题

- 汽车补能需求时空分布不均
- 移动补能车辆时空匹配时效差

思路

- 基于优化约束的充电路径规划
- 基于“车-车”时空分布的共享匹配

## 基于充电预约的移动充电最优任务分配



静态充电需求建模

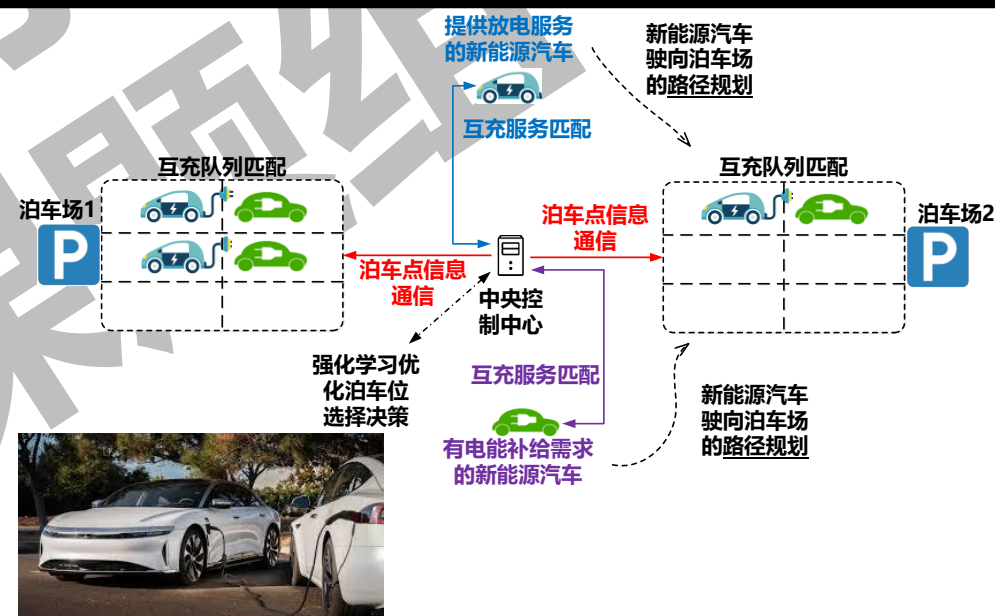
移动充电单元预约优化

移动充电等待时间估计

最优移动充电单元推荐

充电最晚延迟约束下，降低移动充电车部署及寻路

## 基于停车约束的P2P能源共享服务优化



实时充电对服务需求建模

充放电车服务匹配优化

泊车位占用率预测及服务地点选择

车辆停车时长约束下，最大化能源共享效率

论文1: Mobile Charging as a Service: A Reservation-Based Approach. IEEE TASE 2020

论文2: A Reservation-Based Vehicle-to-Vehicle Charging Service under Constraint of Parking Duration. IEEE SJ 2023

## 课题方向：“车-车”互充电能交互服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

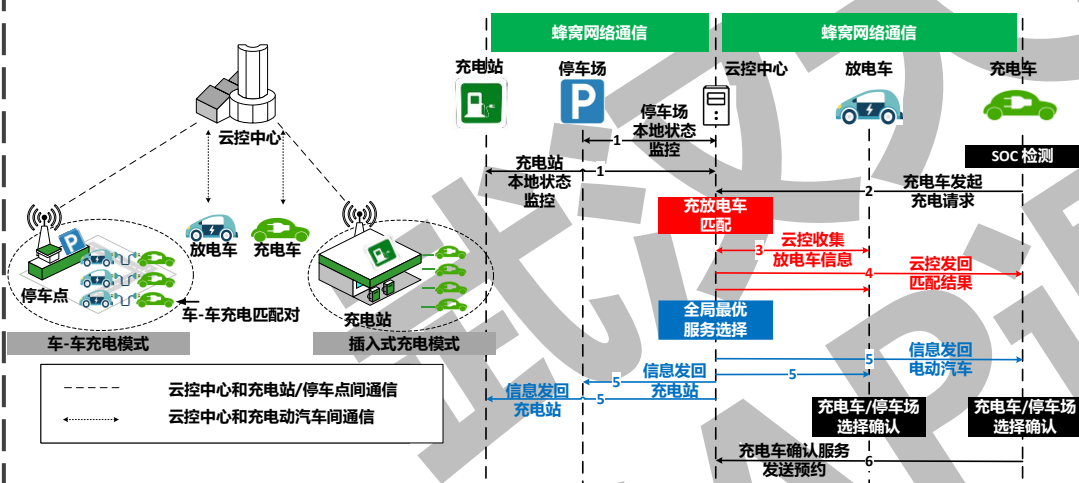
## 问题

- 传统充电模式难以满足差异性
- 停车充电受固定设施位置限制

## 思路

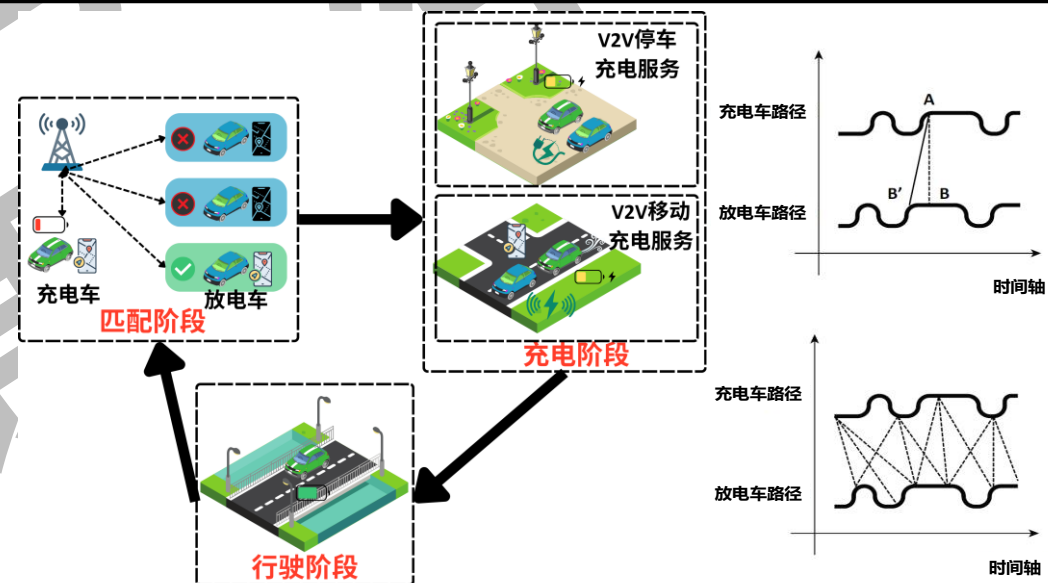
- 多维层次分析评估下的多模式充电间互补
- 混合与移动服务框架下的充电路径匹配

## 基于层次分析法的最优混合充电服务推荐

车车互充与  
插入式充电  
服务建模基于AHP的  
充电损失估  
计混合模式下  
最低充电损  
失决策检索全局最佳服  
务决策推及  
预约

优化充电服务选择灵活性，降低充电成本

## 基于动态规整路径相似度匹配的混合车车互充框架

停车和移动  
车车互充  
服务建模动态时间规  
整的路径相  
似度匹配全局最优车  
车互充服务  
选择路径调整最  
大化充电服  
务时长占比

增加移动充电服务时长占比，提升服务灵活性

论文1: Towards reservation-based E-mobility service via hybrid of V2V and G2V charging modes. Elsevier Energy 2023

论文2: 面向智能交通场景的V2V充电服务优化研究综述. 物联网学报 2024

## 课题方向：长程自主泊车服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

### 问题

- 高级自动化共享出行服务场景复杂
- 端到端全程出行优化问题建模缺乏

### 思路

- 停车场、卸/载客点布署优化
- 卸/载客点选择决策优化、泊车位管控优化

### 基于L4级自动驾驶场景的长程自主泊车管理

- 侧重Level-4a场景, 依靠路侧边缘计算能力, 驱动关键路口的协同性
- 卸客/载客点的选择优化, 需满足用户出行便利性
- 泊车位选择优化的经济性



自主代客泊车经历系列的发展:

- 1b级, 用户需要完全监督泊车行为;
- 2级与3级, 用户可以通过智能设备监控整个泊车过程;
- 4级, 用户在停车场入口处离开车辆;

进一步地, 根据用户对下车地点与泊车地点之间的要求, 自主代客泊车可以分为短程自主代客泊车与长程自主代客泊车。



### 自主代客泊车的发展阶段

论文1: From Smart Parking Towards Autonomous Valet Parking: A Survey, Challenges and Future Works. Elsevier JCNA 2021

论文2: Reservation Enhanced Autonomous Valet Parking Concerning Practicality Issues IEEE SJ 2022



## 课题方向：虚假数据注入攻击鲁棒的换电泊车服务管理

智能充电

问题

- 泊车补能需求多样、模型难泛化
- 抗攻击能力差、需求响应能力不足

思路

- 基于充电与换电混合补能方式的泊车协同决策
- 基于多阶段的换电站状态信息攻击检测与恢复

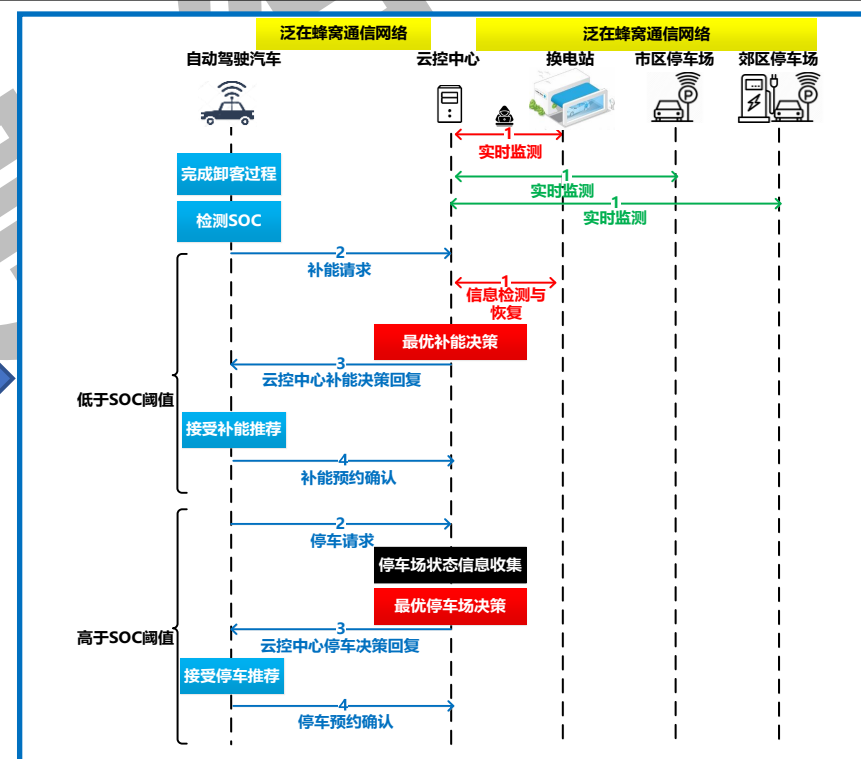
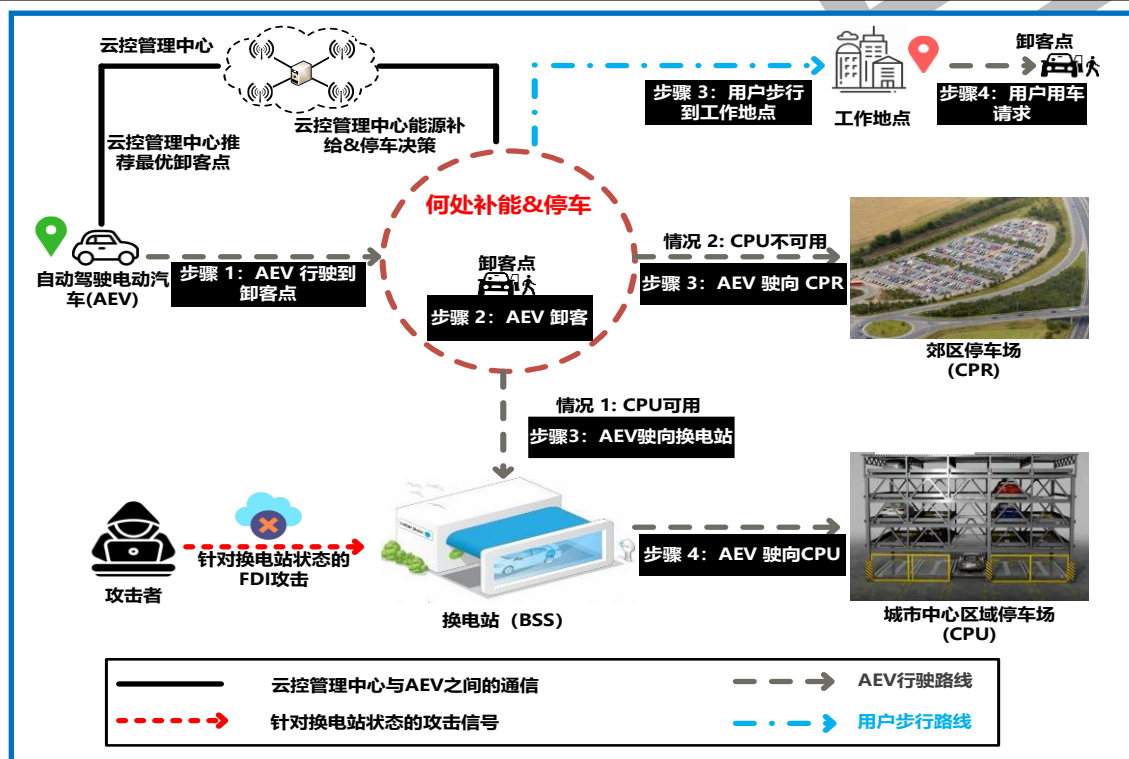
智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

### 考虑恶意攻击的自动驾驶电动汽车泊车补能一体化服务



实现用户用车需求及时响应，缓解补能服务拥塞，完成攻击检测与信息恢复

论文1: A Battery Swapping Service Management System Reliability-Based Design Concerning Station Information Delay. IEEE TCE 2025

论文2: An Integrated Framework on Autonomous Valet Parking and Battery Swapping Service Considering Malicious Attack. IEEE TTE 2025

## 课题方向：空地协同物流服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

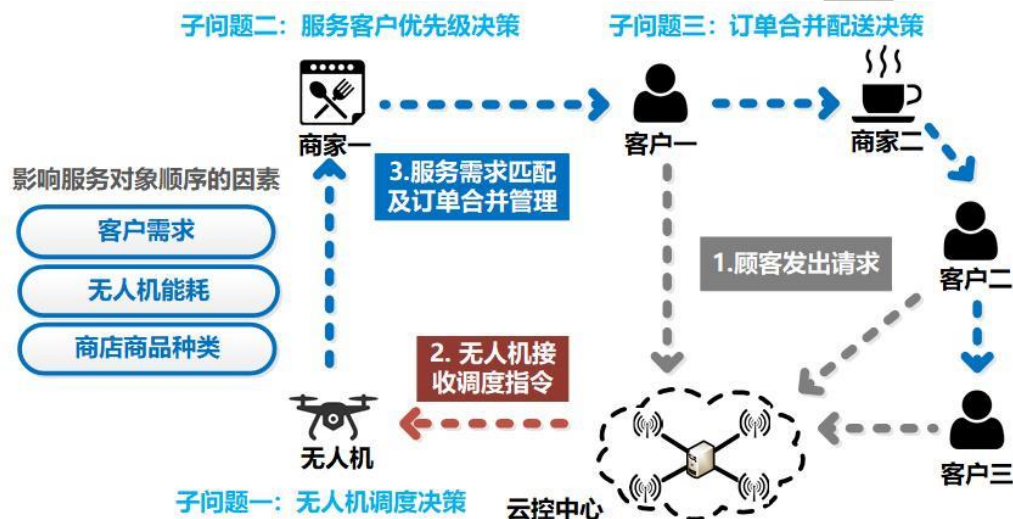
## 问题

- 配送需求异构、服务顺序不定
- 区域联合配送调度复杂、效率低

## 思路

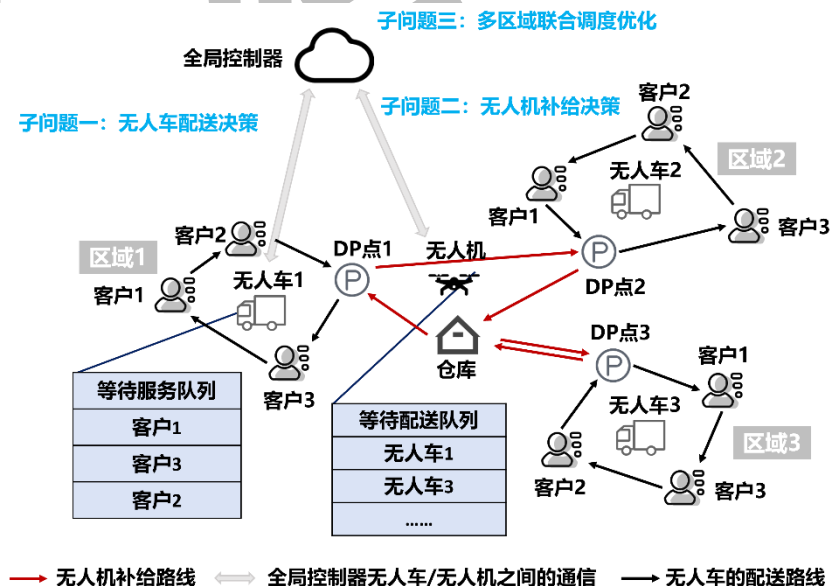
- 基于服务特征的订单合并配送调度优化
- 基于空地协同的联合区域配送服务优化

## 基于订单服务特征的配送调度优化

基于无人机  
配送的服务  
模式设计基于可用时  
间预测的无  
人机调度基于配送需  
求解析的优  
先级判定基于订单特  
征的配送合  
并

降低无人机配送成本，满足客户服务需求

## 基于空地协同配送的服务调度优化

基于空地协  
同配送的服  
务模式设计基于需求的  
无人车配送  
优先级判定基于需求的  
无人机补给  
优先级判定基于区域联  
合的服务优  
化调度

减少无人车配送延迟，提供客户实时服务

论文1: An Efficient Scheduling Scheme for Unmanned Aerial Vehicle Instant Delivery. IEEE ICC 2023

论文2: An Air-Ground Cooperative Real-Time Delivery Scheme Based on Joint Scheduling. IEEE SMC 2024

## 课题方向：空地协同物流服务管理

智能充电

智能换电

电能共享

自主泊车

低空物流

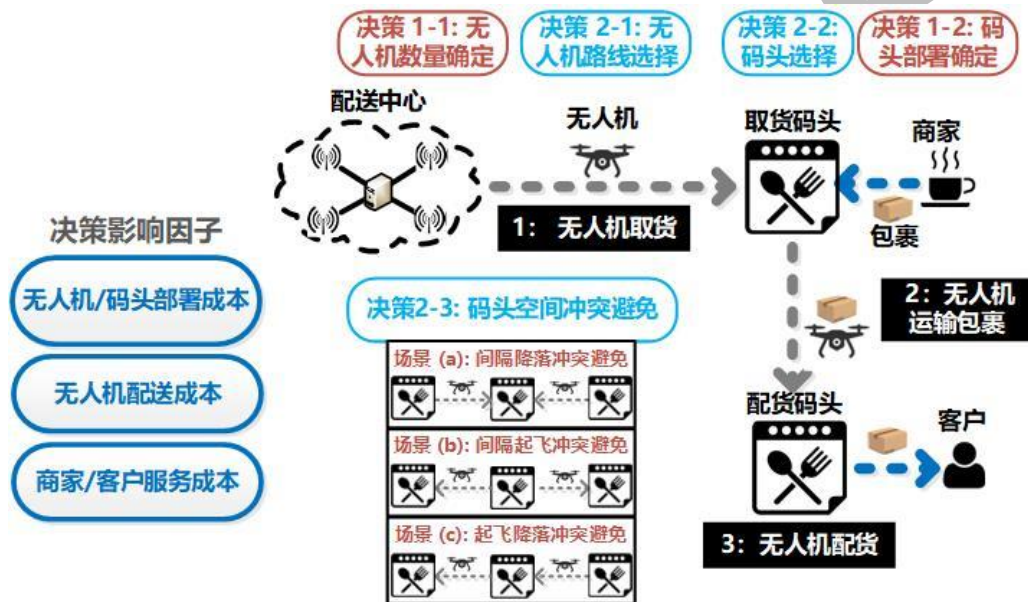
## 问题

- 缺乏考虑码头空间冲突避免
- 缺乏考虑配送时间窗灵活性

## 思路

- 结合蚁群算法的配送调度优化
- 结合客户特征的价格时间调整

## 结合码头选择的配送调度优化



基于双层规划的无人机/码头部署

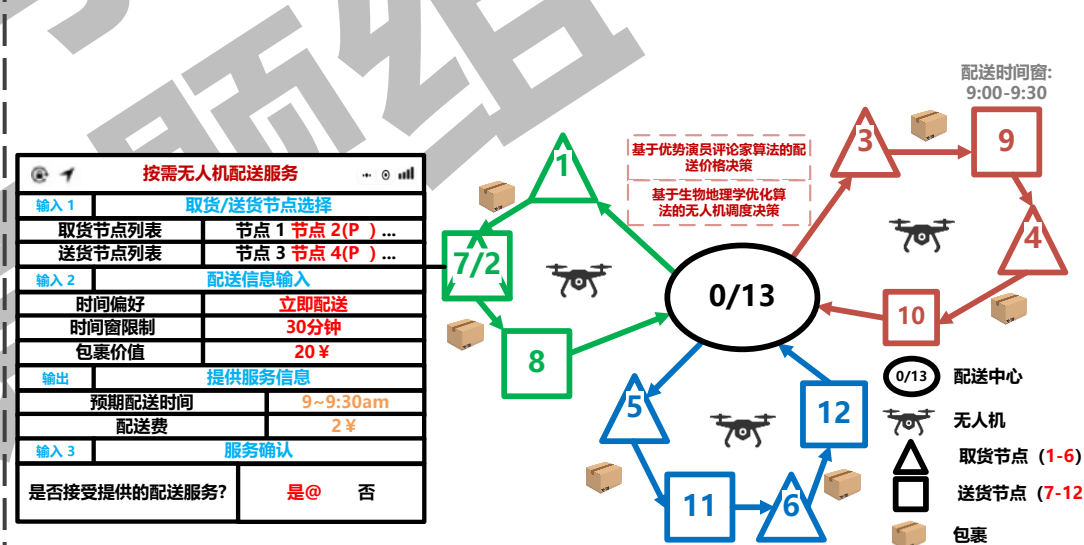
基于任务需求的无人机路线选择

基于蚁群算法的配送码头选择

基于Q值学习的码头冲突避免决策

降低无人机飞行时间，避免码头空间冲突

## 结合价格调整的配送调度优化



基于实时配送需求的客户服务设计

基于A2C算法的价格/时间窗调整

基于BBO算法的无人机任务分配

基于近似动态规划的任务顺序调度

减少无人机配送成本，提供客户满意价格与时间窗

论文1: A real-time UAV delivery system considering dock selection and spatial conflict. Elsevier ESWA 2025

论文2: A Reinforcement Learning Method for UAV Delivery Scheduling under Dynamic Pricing. IEEE TCCN 2025(投稿)

## 决策优化相关支撑成果

### 荣誉奖项

1. 新绿杯” 信息通信行业赋能碳达峰碳中和创新大赛-北部区域赛（二等奖） “绿色低碳交通安全与共享出行创新应用平台”
2. 2023, 中国国际大数据产业博览会-领先科技成果 “面向车城数据融合的智能服务与应用”
3. 2023, 武汉市江岸区-<人工智能赋能智慧城市>最具价值奖 “智能网联静态泊车技术研发”
4. 2023, 中国静态交通行业创新大赛-提名奖 “数字孪生智慧网联泊车云管理平台”

### 学术专著

1. Max Eiza, **Yue Cao** and Lexi Xu. “Towards Sustainable and Economic Smart Mobility: Shaping the Future of Smart Cities” . **World Scientific**, June, 2020.
2. **Yue Cao**, Yuanjian Zhang and Chenghong Gu. “Automated and Electric Vehicle: Design, Informatics and Sustainability” . **Springer**, October, 2022.

### 车联网数据安全、信任管理



### 车载网络入侵检测



### Drones And Cyber Security



无人机网络数据安全、信任管理、入侵检测



工业物联网网络数据安全、信任管理、入侵检测

## 课题方向：车联网密钥与证书管理

数据安全

信任管理

入侵检测

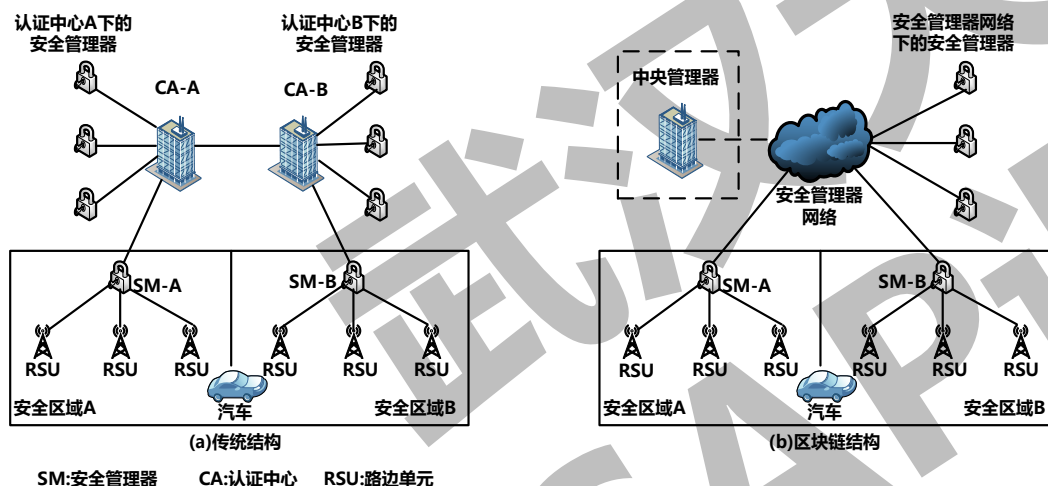
### 问题

- 车辆跨异构安全域信息传递签密开销较高
- 使用车辆假名导致跨安全域证书吊销困难

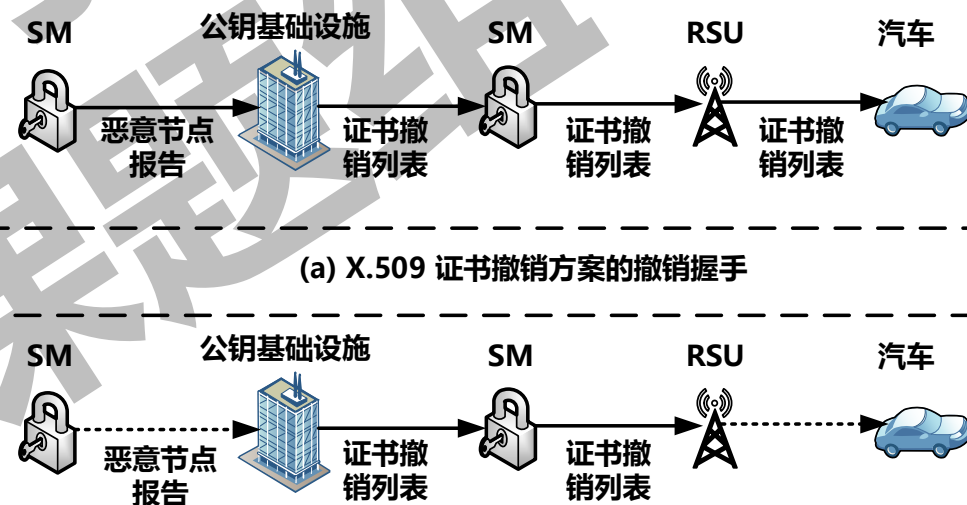
### 思路

- 引入DLT简化异构安全架构
- 基于DLT进行假名维护和共享证书吊销列表CRL

### 基于DLT的异构安全域间信息传递

域间信息传递  
机制评估基于共识机  
制的签密开  
销优化基于DLT的域  
间交互签密开  
销机制设计**保证安全等级前提下，降低跨域签密计算开销**

### 基于DLT的假名关联与CRL发布

假名与身份关  
联和跨域撤销  
机制优化基于共识机  
制的假名关联与  
恶意行为审计借助DLT进行  
证书吊销列表  
发布**域内车辆动态更新密钥，协同优化车联网服务需求**

论文1: Blockchain-Based Dynamic Key Management for Heterogeneous Intelligent Transportation Systems. IEEE IoTJ 2018

论文2: A Blockchain Based Certificate Revocation Scheme For Vehicular Communication Systems. Elsevier FGCS 2020

## 课题方向：车联网通信签密

数据安全

信任管理

入侵检测

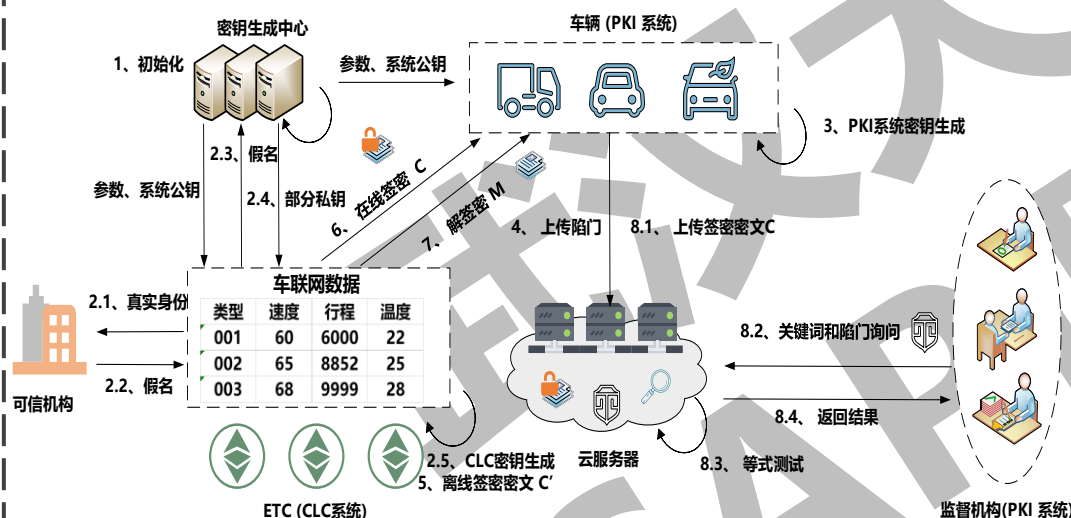
问题

- 异构签密时间开销较高
- 动态车辆密钥更新困难

思路

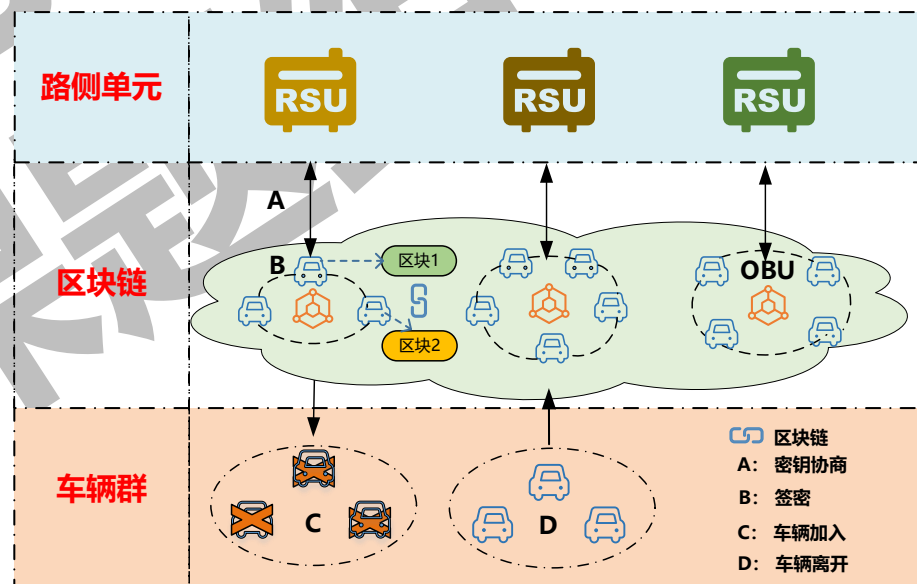
- 引入在线/离线异构签密机制
- 基于中国剩余定理的密钥协商

## 基于在线/离线异构签密的安全通信优化

异构设备密码  
系统评估在线/离线机  
制安全研究在线/离线异  
构签密构造

保证异构签密前提下，降低签密计算开销

## 基于中国剩余定理的签密密钥协商通信技术

域内车辆密钥  
更新链外密钥协商  
链上签密通信基于区块链的  
签密密钥协商  
动态优化

域内车辆动态更新密钥，协同优化车联网服务需求

论文1: An Efficient Online/Offline Heterogeneous Signcryption Scheme with Equality Test for IoVs. IEEE TVT 2023

论文2: CASKA-CRT: Chinese Remainder Theorem Empowered Certificateless Aggregate Signcryption Scheme with Key Agreement in IoVs. IEEE TIV 2024

## 课题方向：车联网通信签密

数据安全

信任管理

入侵检测

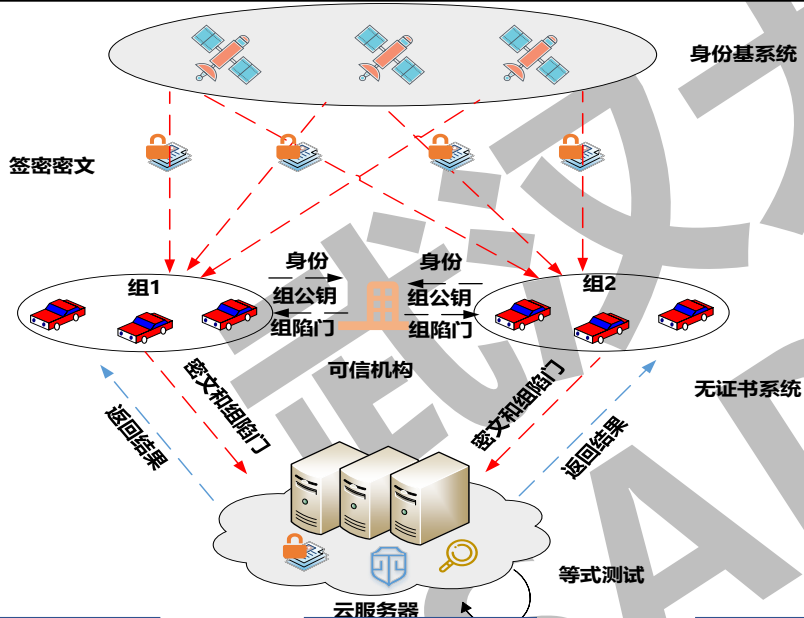
问题

- 密文传输可用性低
- 群组传输密文检索困难

思路

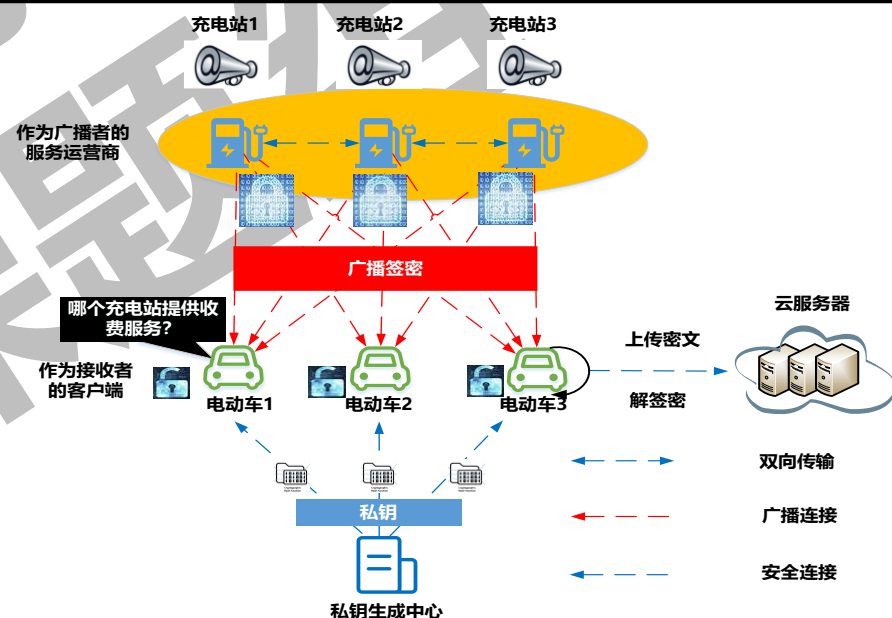
- 构建群组等式测试与异构签密机制
- 融合等式测试与异构广播签密方法

## 考虑群组等式测试的异构签密技术

接收方车辆密  
码系统分析群组等式测  
试机制评估群组等式测试  
异构签密构造

高密文可用性的群组数据检索机制

## 基于等式测试的异构广播签密技术

交互设备安全  
需求分析异构广播签密  
机制融合基于等式测试  
的异构广播签  
密安全证明

高效率数据广播传输机制

论文1: Group Heterogeneous Signcryption Scheme with Equality Test for Satellite-enabled IoVs. IEEE IoTJ 2023

论文2: Heterogeneous Broadcast Signcryption Scheme with Equality Test for IoVs. IEEE TVT 2024

## 课题方向：自主泊车服务安全认证

数据安全

问题

- 非法访问泊车系统
- 身份泄露、停车场多重预约攻击

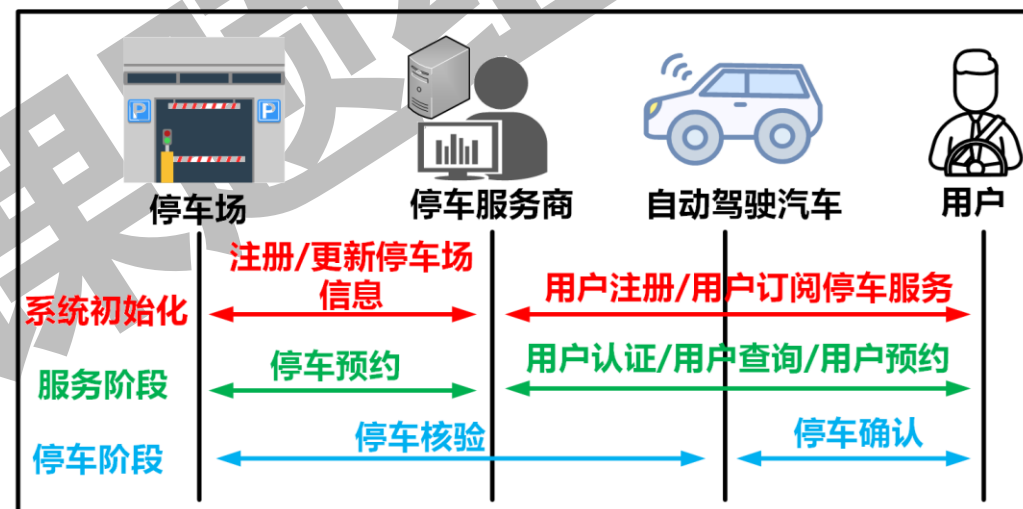
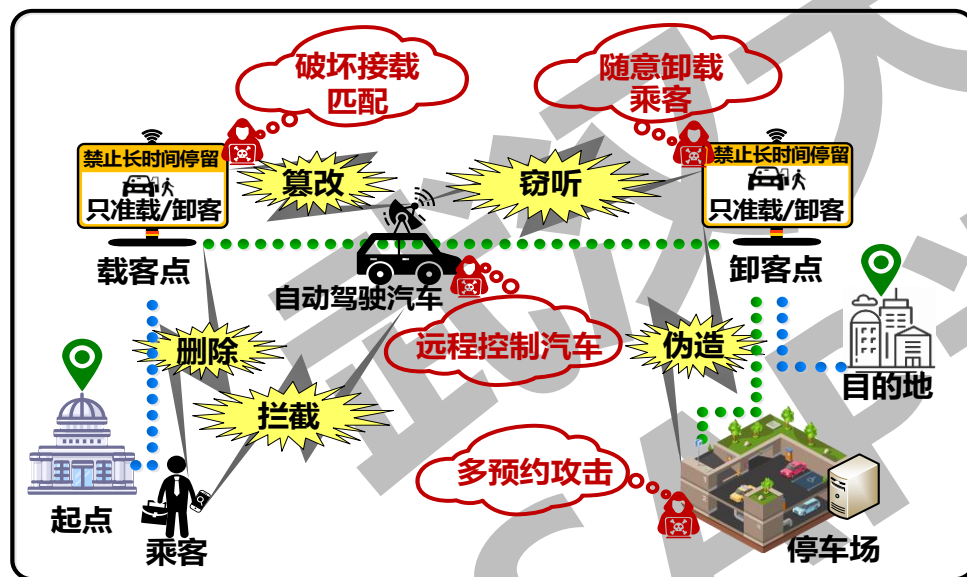
思路

- 基于口令、智能卡、生物特征，设计认证与密钥协商协议，实现网络实体身份合法性验证
- 基于假名机制和停车核验，实现条件隐私保护和抗停车场多重预约攻击

信任管理

入侵检测

### 面向长程自主泊车预约服务的三因素认证与密钥协商协议



泊车服务安全威胁分析

基于三因素安全协议设计

安全协议优化 (支持隐私保护和停车核验)

### 实现载客、卸客、泊车全生命周期安全防护

## 课题方向：换电服务异构签密及激励机制

数据安全

问题

- 多源、异构安全通信受阻，海量消息验证效率低
- 跨层实体演化趋势不同

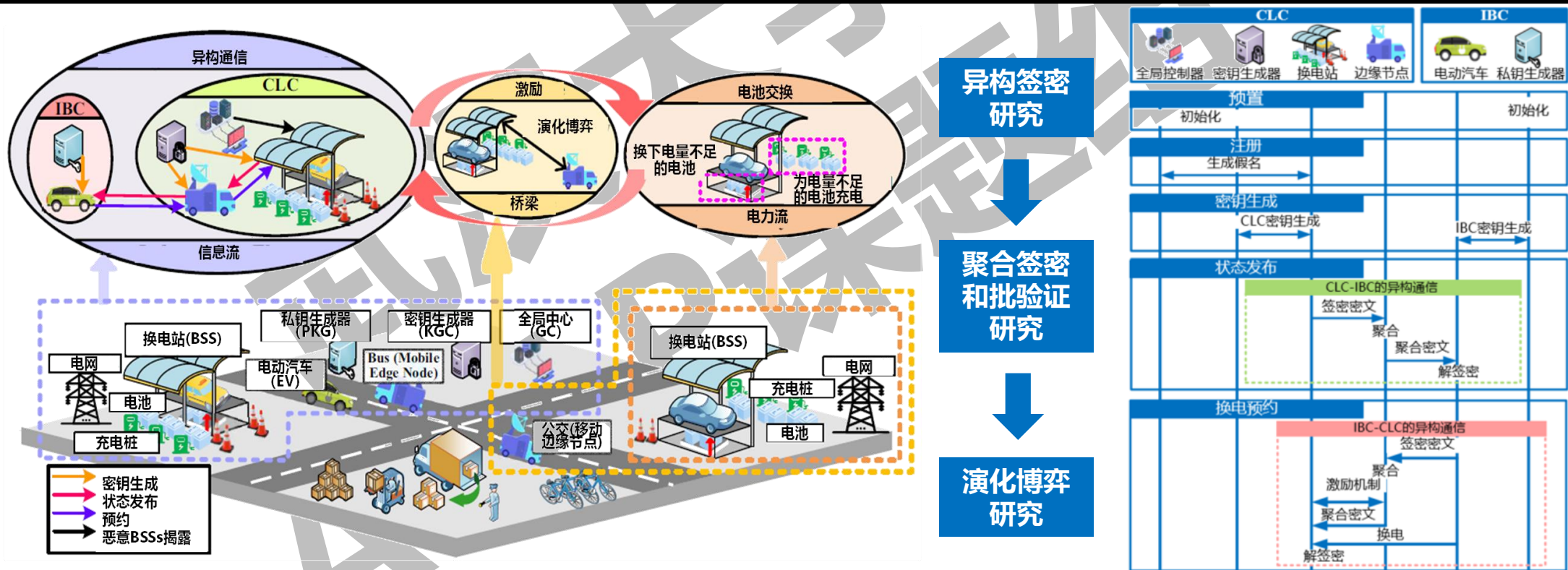
思路

- 基于签密、聚合、批量验证，实现安全高效异构签密
- 基于跨层实体的行为策略和演化趋势，设计激励机制

信任管理

入侵检测

### 面向换电预约服务的安全异构签密和激励机制



实现支持条件隐私保护的双向异构聚合签密，推动跨层实体数据共享的激励机制

论文：Secure Battery Swapping: A Reservation Scheme with Conditional Privacy-Preserving Bidirectional Heterogeneous Aggregate Signcryption and Incentive Mechanism. IEEE TVT 2023

## 课题方向：无人机网络安全认证

数据安全

问题

- 物理攻击导致UAV隐私参数泄露
- 智能卡丢失、口令猜测、生物特征泄露

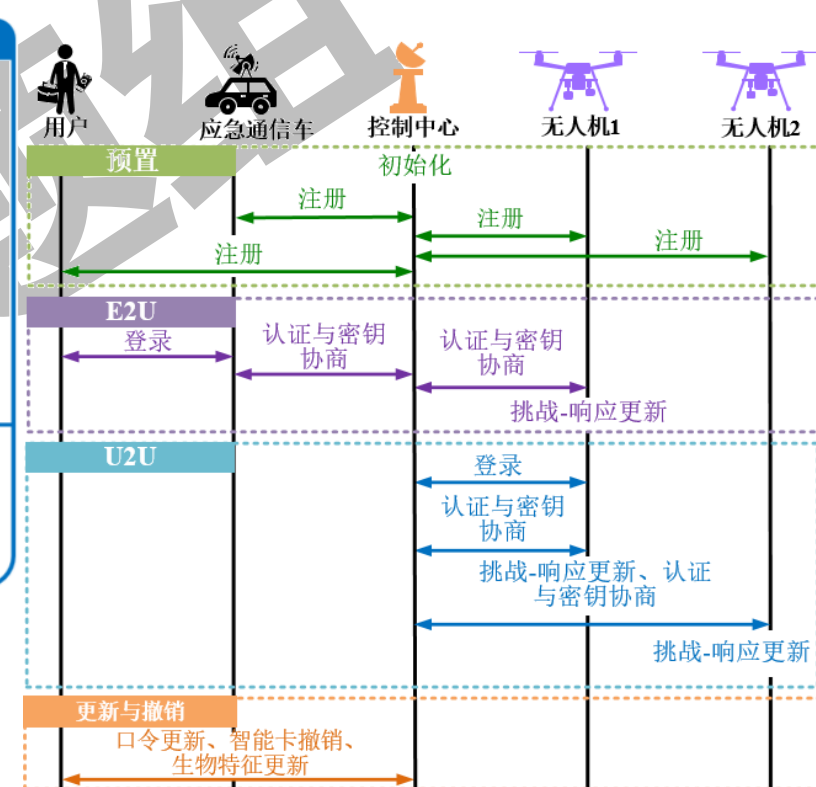
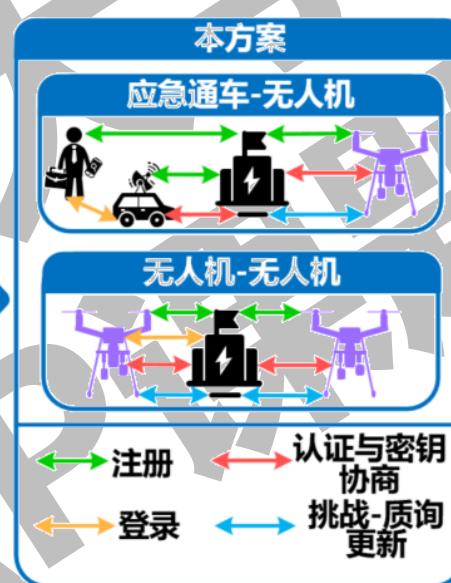
思路

- 基于物理不可克隆函数处理无人机隐私参数，防止物理攻击导致无人机隐私参数泄露
- 设计认证与密钥协商协议，实现智能卡撤销、口令更新和生物特征更新

信任管理

入侵检测

## 无人机灾后应急场景的安全认证与密钥协商



物理不可克隆函数研究

融合三因素和物理不可克隆函数的安全协议设计

安全协议优化（支持智能卡撤销、口令更新和生物特征更新）

实现无人机隐私参数保护、用户安全性增强和网络实体的安全通信

## 课题方向：面向多式联运的隐私保护与安全的数据流通管理

数据安全

问题

- 多式联运信息碎片化、缺乏标准化电子文档
- 开放通信链路下数据隐私保护及抗攻击能力薄弱、多式联运多种实体间缺乏信任

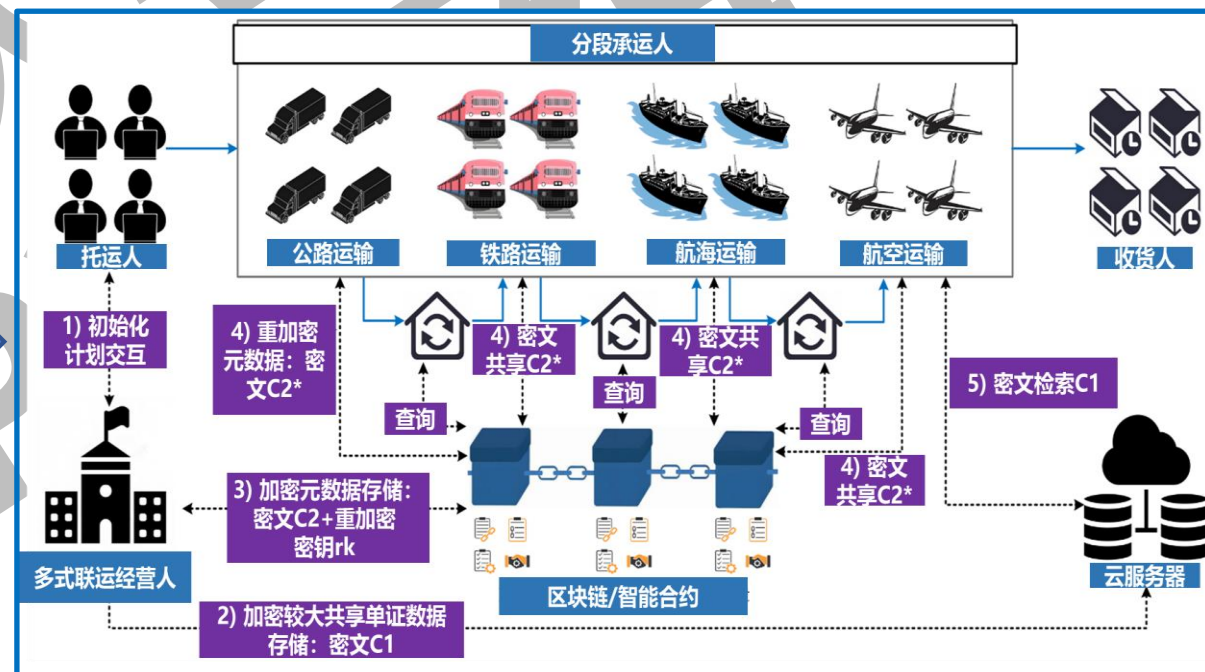
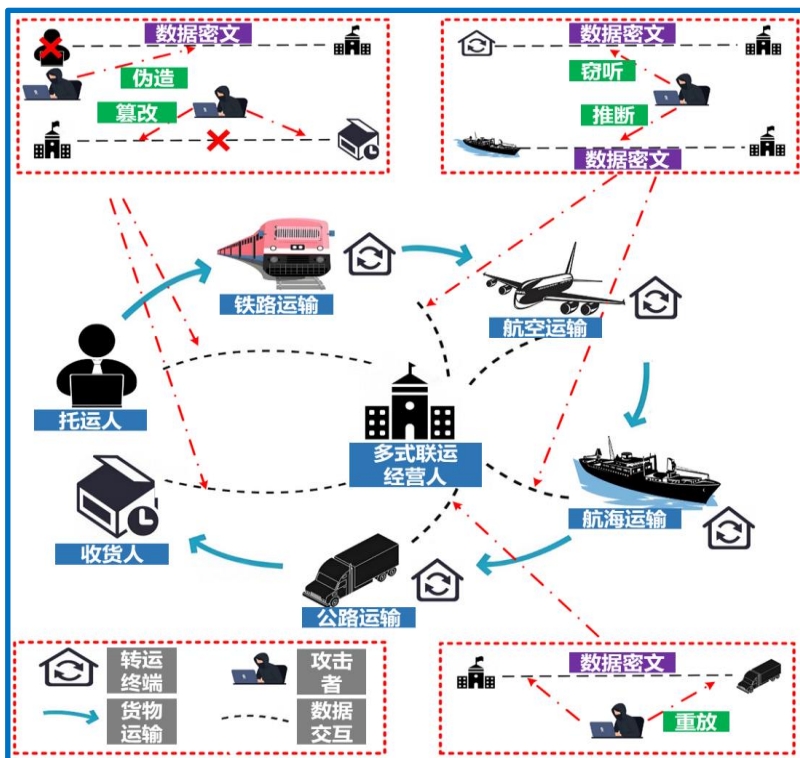
思路

- 基于区块链的分布式、不可篡改、透明特征及自动化合约机制增强实体信任、加强数据监管
- 探索适配于多式联运的数据加密及签名认证技术

信任管理

入侵检测

### 考虑外部攻击和内部攻击的数据流通隐私加密及实体认证技术



满足货运安全需求，保护用户隐私，构建安全、可扩展、互联互通的多式联运体系

## 课题方向：车联网信任管理

数据安全

信任管理

入侵检测

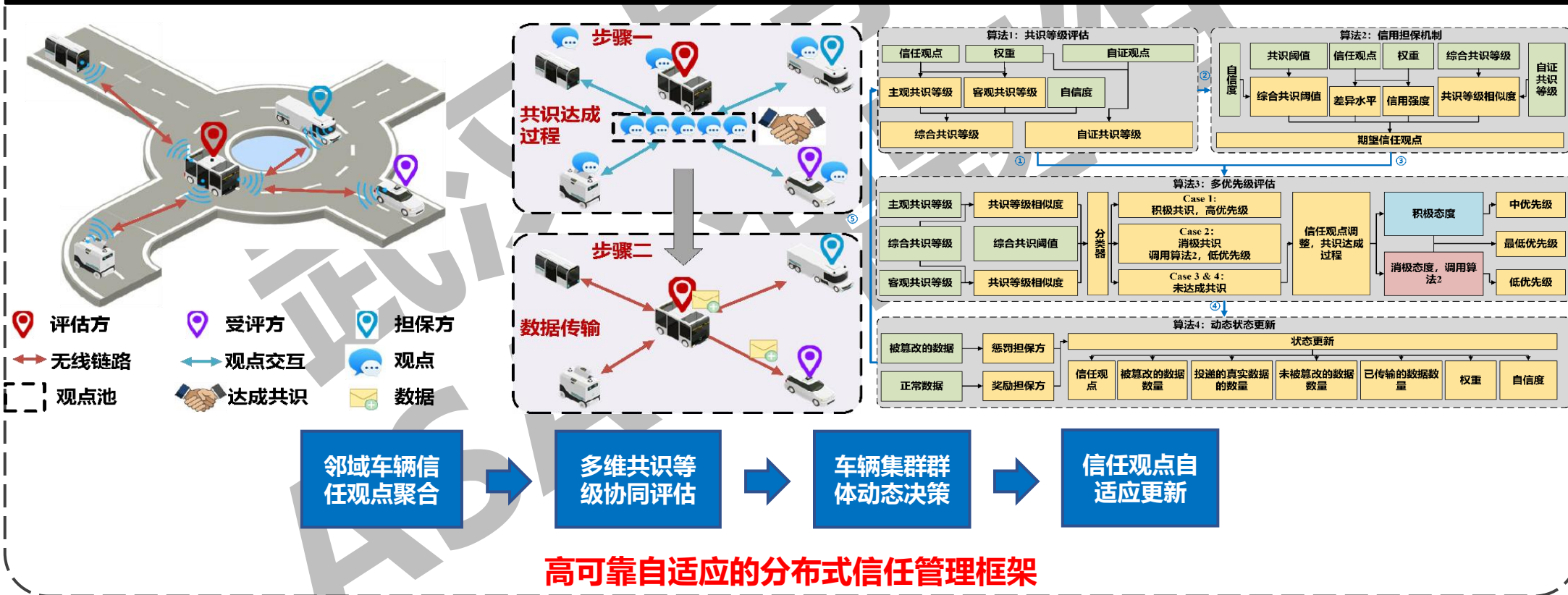
## 问题

- 车联网车辆不互信、信任不互通
- 分布式信任评估不准确、不高效

## 思路

- 多维共识等级与相似度评估，量化共识可信度
- 车辆信任观点动态更新，优化信任评估准确性

## 基于群决策的车联网自适应共识信任管理





## 课题方向：无人机网络信任管理

数据安全

信任管理

入侵检测

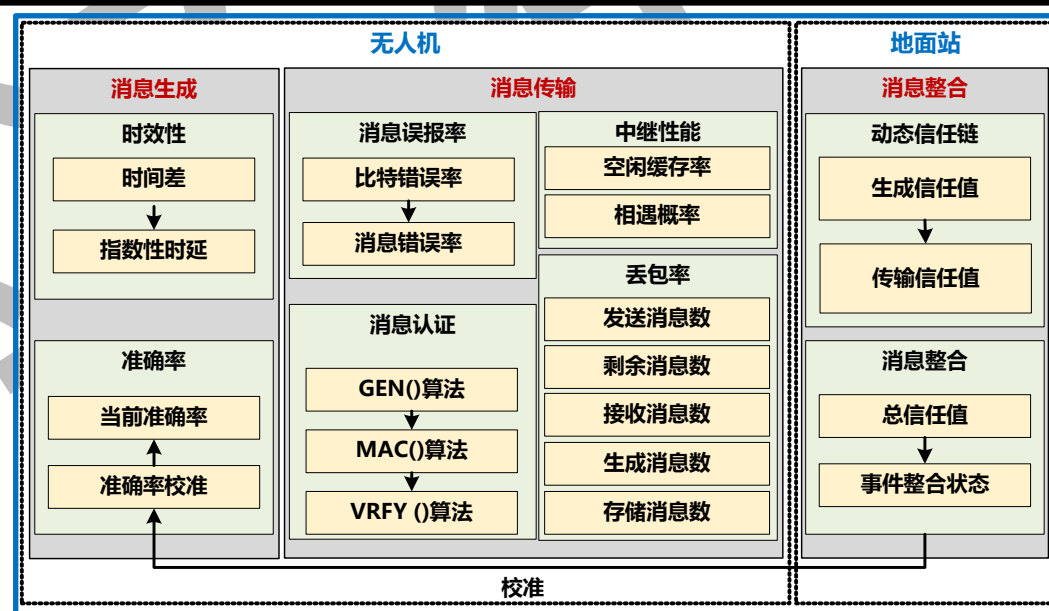
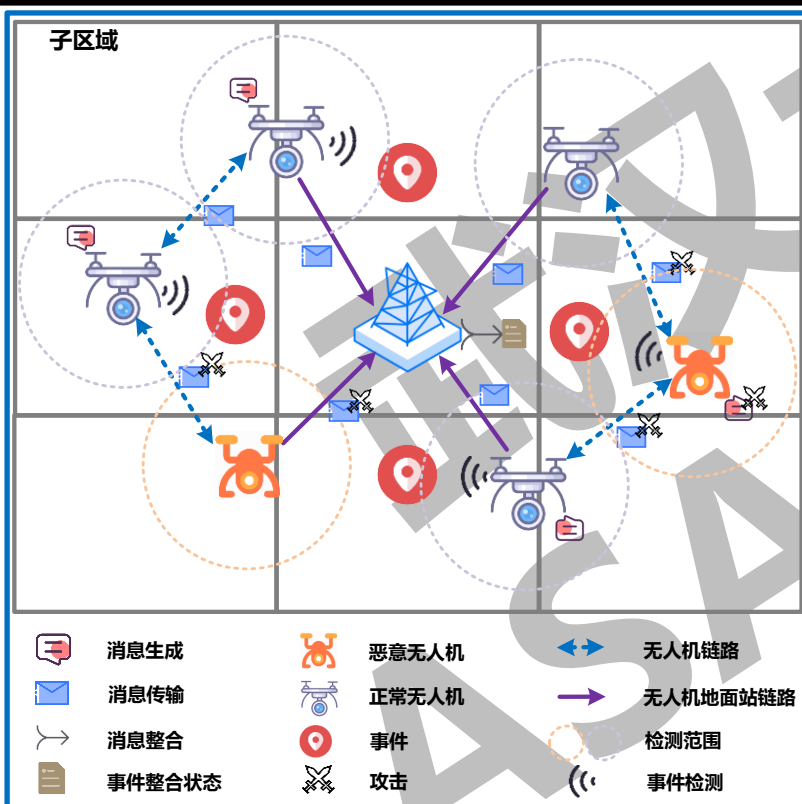
## 问题

- 网络拓扑结构变化快、通信链路不稳定、终端受限
- 现有防护方案多侧重考虑无人机自身特征

## 思路

- 基于消息“生成-传输-接收”三阶段的信任模型
- 分析潜在攻击情况，以较低计算成本对相关检测因素进行量化

## 基于消息“生成-传输-接收”三阶段的无人机网络信任管理

消息生成时效性哦  
那个、准确性判定误报率、丢包  
率、认证及中  
继性能判定信任链生成  
及信任聚合

通信低开销情况下，消息评估有效性及时间评估准确率

论文1: A Tri-Phases Message Oriented Trust Model in FANET. IEEE TNSE 2024

论文2: A Dual Detection System of Common Anomalies in FANETs. IEEE ICA3PP 2024

## 课题方向：车联网恶意行为检测

数据安全

信任管理

入侵检测

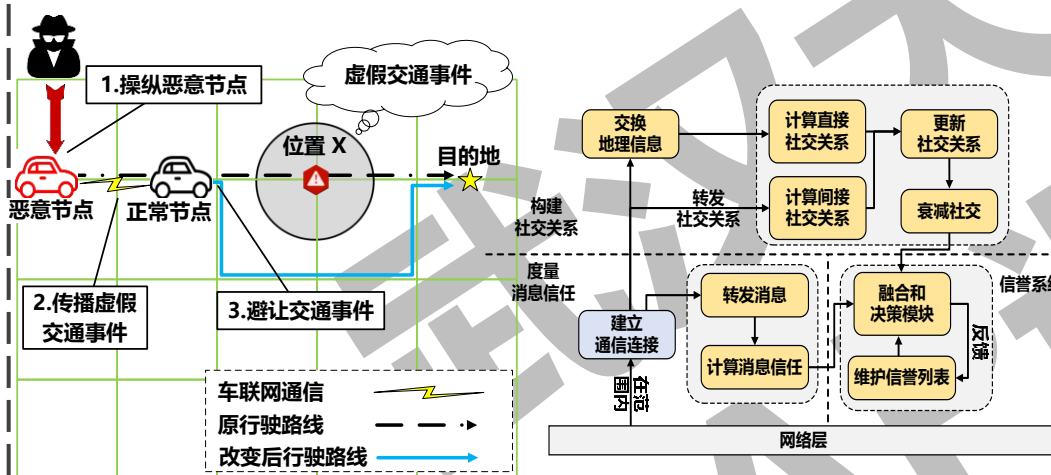
## 问题

- 本地检测难映射全局网络态势
- 交通环境多样、网络拓扑变化快

## 思路

基于轨迹地理信息及交通信息，设计结合车辆社交关系、消息时空属性、交通异常、消息聚类等多维恶意车辆检测机制

## 基于事件驱动的社交网络恶意行为检测技术



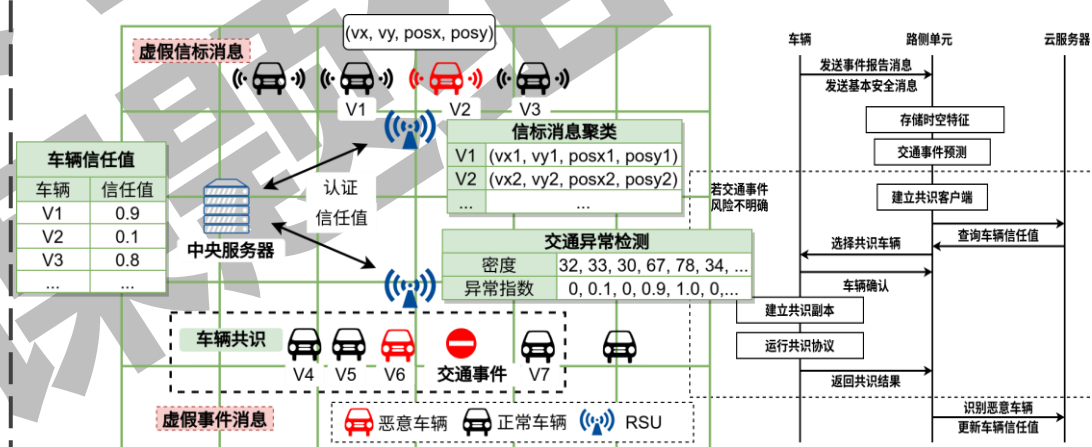
基于时空属性的  
消息信任度  
计算

基于轨迹相似  
度的车辆社交  
关系评估

消息信任组合  
值计算

结合车辆社交关系，反映全局评估信息

## 面向车联网的虚假消息检测技术



针对交通异常  
进行车辆共识

车联网信标  
消息聚类

基于贝叶斯的车  
辆信任模型构建

保障车联网应用数据安全，维护交通正常运行

论文1: Misbehavior Detection Mechanism Based on Geographic Information in VANETs. IEEE TCE 2024

论文2: False Message Detection in Internet of Vehicle Through Machine Learning and Vehicle Consensus. Elsevier IPM 2024







## 课题方向：云车协同入侵检测

数据安全

信任管理

入侵检测

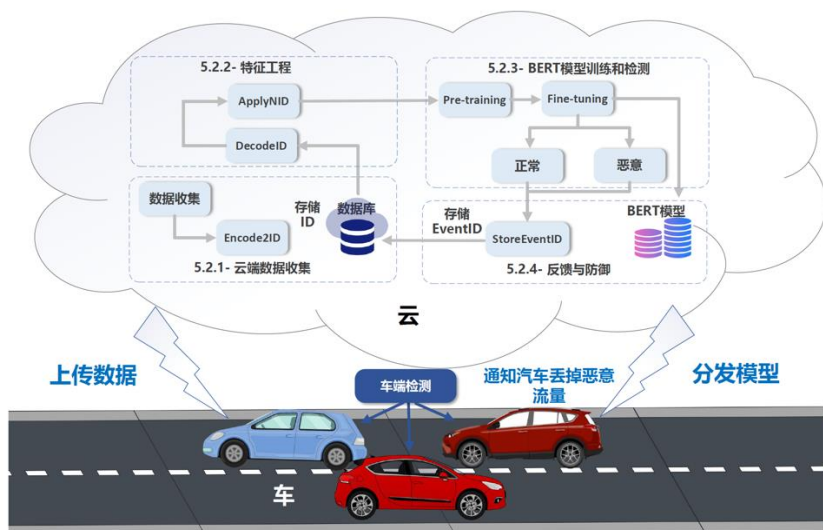
## 问题

- 车内资源有限无法训练复杂模型
- 模型无法实时更新检测新型攻击

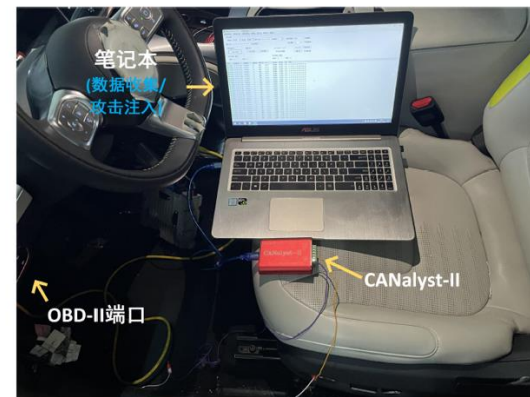
## 思路

- 基于云车协同训练及模型聚合的入侵检测防御系统构建

## 基于云车协同的入侵检测防御系统

训练  
初始  
模型

| 类型        | 数量      |
|-----------|---------|
| 正常流量      | 2542535 |
| DoS 攻击    | 587521  |
| 模糊攻击      | 590531  |
| 重放攻击      | 96357   |
| Gear 欺骗攻击 | 597252  |
| RPM 欺骗攻击  | 654897  |
| 故障攻击      | 15974   |
| 总共        | 5085067 |

实车+仿真  
数据收集收集车辆内部网络  
数据上传至云端借助云端资源训练  
入侵检测模型分发加载模型至车辆，  
并定期更新模型

提高模型训练效率，驱动模型更新检测新型攻击

## 课题方向：车载网络通用型入侵检测

数据安全

信任管理

入侵检测

问题

- 车载攻击环境数据量有限
- 入侵检测模型实时性差

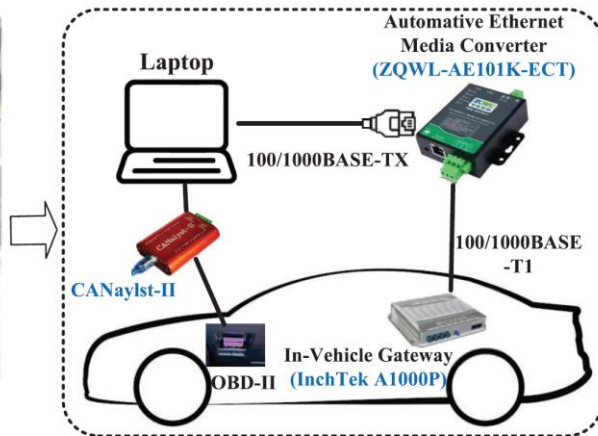
思路

- 基于知识蒸馏的教师-学生范式的入侵检测防御系统构建

## 基于知识蒸馏的车载网络通用检测模型



东风猛士817



原始数据 (十进制)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 145 | 239 | 0   | ... | 180 | 125 |
| 145 | 239 | 0   | ... | 12  | 13  |
| 145 | 239 | 0   | ... | 131 | 67  |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 220 | 166 | 50  | ... | NaN | NaN |
| 220 | 166 | 50  | ... | NaN | NaN |

1 数据预处理：  
特征选取  
填充  
Z-Score 标准化  
遮盖

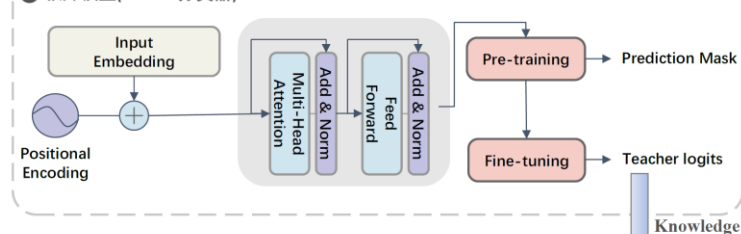
处理过后数据

|       |       |       |     |       |       |
|-------|-------|-------|-----|-------|-------|
| -0.83 | 1.58  | -1.07 | ... | 1.53  | Mask  |
| -0.83 | 1.58  | Mask  | ... | -0.22 | 0.168 |
| -0.83 | 1.58  | -1.07 | ... | 0.52  | -0.04 |
| ...   | ...   | ...   | ... | ...   | ...   |
| -0.56 | -0.44 | 0.104 | ... | Mask  | -0.23 |
| -0.56 | Mask  | 0.104 | ... | -0.13 | -0.23 |

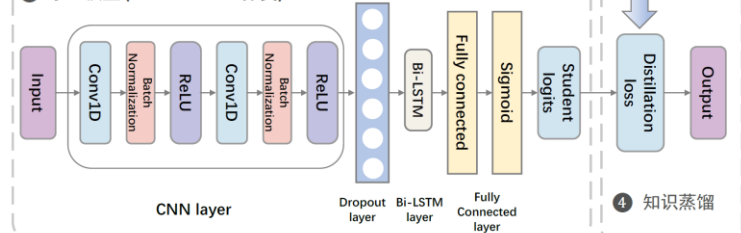
4461527 rows x 434 columns

4461527 rows x 42 columns

## 2 教师模型(BERT二分类器)



## 3 学生模型 (CNN-BiLSTM二分类)



基于BERT的教师模型

基于CNN-BiLSTM的学生模型

模型知识蒸馏

准确识别复杂或隐蔽的异常流量，强化对攻击行为的时序感知能力

## 网络安全相关支撑成果

### 荣誉奖项

- 2025, 中国互联网协会“金灵光杯”中国互联网创新大赛-优秀奖“城市级低空安全运营保障方案”
- 2025, SAE汽车安全优秀个人**
- 中国国际大数据产业博览会-领先科技成果（二等奖）“大数据驱动的车路协同安全可信防护技术与创新应用”
- 2024, 湖北省科技期刊百篇优秀论文
- 2022, 中国发明协会-发明创业奖二等奖“面向ICT赋能的车联网资源管控和安全防护关键技术及其应用”
- 2021-2024年度, **中国高被引学者（网络空间安全学科）**, 爱思唯尔&软科发布



### 学术专著

- Yulin Hu, Xiaopeng Yuan, **Yue Cao** and Kaitao Meng. “Reliable and Efficient Trajectory Design in UAV-Aided Wireless Networks” . **Springer**, 2025.
- Yue Cao**, Omprakash Kaiwartya and Tiancheng Li. “Secure and Digitalized Future Mobility: Shaping the Ground and Air Vehicles Cooperation” . **CRC Press**, December, 2022.

### 标准规范

- TCSAC 019-2025/TWHCSA 008-2025, 智能网联汽车网络安全检测技术要求 (2025)
- YD/T 6304-2024, 网络深度包检测 (DPI) 数据密码应用技术要求 (2024)
- YD/T 3758.11-2023, 电信数据服务平台 第11部分: 区域规划洞察应用技术要求 (2023)
- 2025, 《低空经济网络与信息安全白皮书》**
- 2023, 《面向车路云一体化的数据安全研究报告》**
- 2022, 工信部智能网联产业蓝皮书-B17-《智能网联汽车网络安全技术研究》





**谢谢！  
请各位专家领导批评指正**



[yue.cao@whu.edu.cn](mailto:yue.cao@whu.edu.cn)