

无人驾驶多智能体·星型最简高效架构

线性复杂度·工程可落地

报告人名称

20xx.xx.xx

目录





架构设计理念

剖析传统架构的痛点，阐述星型拓扑如何通过极致简化，解决复杂度与可靠性难题，实现工程落地。

传统架构挑战

软件复杂度与硬件成本高企不下

1

智能驾驶演进

从L2到L4+，系统复杂度呈指数级增长，软件模块剧增，传统架构难以应对。

2

耦合度高

模块间依赖关系错综复杂，牵一发而动全身，导致开发、测试与维护成本高昂。

3

通信风暴

全连接或网状拓扑下，节点间通信开销巨大，易引发网络拥塞，威胁实时性。

4

扩展困难

增加新节点或功能需修改大量关联模块，系统扩展性差，迭代速度慢。

5

单点故障

中心节点或关键链路失效，可能导致全局系统瘫痪，可靠性风险高。

星型拓扑优势

以中心辐射全局，实现简单，稳定高效

01

结构清晰

以一个中心节点（如感知）辐射所有执行节点，模块职责单一，关系明确。

02

时延可控

节点间通信路径固定且最短，无多跳中转，保障了确定性的低通信时延。

03

路由简单

无需复杂的动态路由协议，降低了算法复杂度与计算资源消耗。

04

易于扩展

新增节点仅需与中心节点建立连接，不影响现有网络结构，扩展灵活。

05

成本优化

减少了节点间的互连硬件需求，降低了布线复杂度与整体系统成本。

核心设计原则

感知广播、执行协作、安全独立



去中心化

无全局调度中枢，避免单点故障与性能瓶颈，系统鲁棒性更强。

01



无全局协商

节点决策基于本地信息与广播信息，省去复杂的分布式共识过程。

02



三层解耦架构

将环境感知、任务执行、功能安全在架构上彻底解耦，降低关联风险。

03



广播通信模式

核心信息由感知层一次广播，执行层按需接收，极大减少通信冗余。

04



最小权限原则

各模块仅拥有完成其功能的最小信息权限，减少不必要的数据交互。

05



星型最简架构详解

深入解析“环境-执行-安全”三层星型架构的模块组成、通信关系与工作机制，凸显其简洁与高效。

架构全景视图

感知广播，安全独立，线性连接

01

环境感知智能体

- 作为星型架构的“广播塔”，负责环境信息的采集与分发，只发不收，开销最低。

02

执行层智能体

- 包括行车决策、三电能源、线控执行、车身底盘等，是星型的“叶片”，职责清晰，邻接直连。

03

安全防护智能体

- 作为独立的“守护者”，拥有最高优先级，仅在必要时介入，不干扰系统正常运行。

04

单向信息流

- 从感知到执行，信息流呈清晰的单向放射状，无反馈环路，逻辑简单可靠。

05

线性拓扑结构

- 整体架构呈现为以感知为中心的星型，模块间为线性连接关系，无网状交织。

感知层：环境广播

只发不收，最低开销

01

感知融合中心

汇聚摄像头、激光雷达、毫米波雷达等多源传感器数据，进行融合处理。

02

信息广播者

将融合后的环境模型、目标列表、可行驶区域等信息，以广播形式周期性发布。

03

无状态设计

不关心谁接收、如何接收，亦不处理任何反馈，自身保持无状态，逻辑极简。

04

最低通信开销

采用高效的序列化协议和UDP等轻量级传输协议，将广播数据包大小和频率控制在最低。

执行层：邻接协作

非全连接， $O(n)$ 复杂度

01

行车决策

负责路径规划、行为预测、运动规划，基于感知广播做出驾驶决策。

02

三电能源

负责电池、电机、电控的能源管理与分配，保障动力系统高效运行。

03

线控执行

接收决策指令，精确控制车辆的油门、刹车、转向等执行器。

04

车身底盘

负责车身稳定、悬架控制、灯光雨刷等舒适性与安全性功能。

05

仅邻接通信

决策与线控、三电与底盘等之间存在必要的协同，但仅限于直接相关的邻居模块。

安全层：独立守护

仅抢占线控，最高优先级

01

02

03

04

05

实时监控

持续监控车辆状态、执行器反馈及外部环境的关键安全指标。

独立于主控

安全决策逻辑独立运行，不依赖于主控系统的状态，形成物理与逻辑隔离。

最高优先级抢占

一旦检测到 imminent danger (如碰撞风险)，立即以最高优先级介入。

直接接管线控

通过独立的通信通道，直接向线控执行模块发送指令，绕过所有其他环节。

故障降级策略

执行预设的、最简化的安全策略 (如缓刹、靠边停车)，确保车辆进入安全状态。



架构核心优势

从复杂度、通信效率和工程落地性三个维度，量化分析该架构的先进性与可行性，论证其量产价值。

优势一：复杂度最低

从 $O(n^2)$ 到 $O(n)$ 的跨越

01

连接复杂度

传统全连接架构中， n 个节点需建立 $n(n-1)/2$ 个连接，复杂度为 $O(n^2)$ 。本架构中，所有节点仅与感知中心连接，复杂度为 $O(n)$ 。

02

路由复杂度

星型拓扑无需路由计算，路径唯一。相比MESH网络的动态路由协议（如AODV），计算开销和状态维护成本极低。

03

状态机复杂度

模块解耦后，各节点的状态机设计更为简单，状态转移逻辑清晰，易于验证和测试。

04

符合车规要求

线性复杂度确保了系统在大规模扩展时，性能仍可预测、可控制，满足车规级的实时性与可靠性要求。

优势二：通信最精简

广播覆盖，无冗余交互

01

感知广播覆盖

感知层一次广播，所有执行层模块并行接收，信息分发效率最高，带宽占用一次。

02

执行层邻接通信

模块间仅在必要时进行点对点通信，无全网泛洪，数据流量小且可预测。

03

安全层无交互

安全模块平时仅监听，不发送任何协商报文，通信零冗余。触发时，仅发送最高优先级的抢占指令。

04

降低带宽与延迟

极致精简的通信模式，极大降低了对车载网络带宽的需求，并保证了关键路径的低延迟。

优势三：工程最可行

无需中央控制器，高稳定易量产

01 模块高度解耦

各智能体职责单一，接口清晰，可独立开发、测试、部署和升级，显著提升研发效率。

02 职责清晰明确

“感知-执行-安全”的分工，符合功能安全标准（如ISO 26262）对架构分离的要求。

03 无需复杂共识

去除了分布式系统中复杂的共识算法（如Paxos, Raft），系统行为更确定，调试更简单。

04 量产落地能力

架构简单、成本可控、可靠性高，具备向大规模量产车型快速推广的技术基础和工程可行性。



总结与展望

总结星型最简架构的技术价值，并展望其在更广泛的智能体协同领域的发展潜力，勾勒未来蓝图。

架构价值总结

简洁之美，工程之选

1

技术先进性

通过星型拓扑与三层解耦设计，从根本上解决了多智能体系统的复杂度和实时性矛盾。

2

实际可行性

架构完全基于现有车规级硬件和成熟通信技术实现，无过度设计，具备立即量产的能力。

3

平衡的艺术

在系统性能、可靠性、成本和开发效率之间，找到了一个卓越的平衡点。

未来演进方向

从单车智能到群体协同

1

异构智能体协同

将架构扩展至车-路-云协同场景，将路侧感知、云端调度作为新的“智能体”接入。

2

动态星型拓扑

探索在特定场景下，执行层节点根据任务需求，动态建立临时星型子网，提升协作灵活性。

3

AI赋能决策

在执行层的“行车决策”智能体中，引入基于深度强化学习的AI模型，提升复杂场景的决策能力。

4

6G通感一体

结合未来6G网络的通感算一体化能力，将环境感知的范围和精度进一步扩展，实现更大规模的星型协同。

谢谢观看

报告人名称

20xx.xx.xx

