

智能底盘操作系统白皮书

中国汽车工程学会汽车基础软件分会

电动汽车产业技术创新战略联盟

中国汽车工程学会智能底盘分会

国家智能网联汽车创新中心

东风汽车集团有限公司研发总院

编写委员会

主 任

张 文 杰 国家智能网联汽车创新中心、中国汽车工程学会汽车基础软件分会

赵 立 金 中国汽车工程学会、电动汽车产业技术创新战略联盟

张 衡 东风汽车集团有限公司研发总院

副主任

尚 进 国汽智控（北京）科技有限公司、中国汽车工程学会汽车基础软件分会

刘 国 芳 中国汽车工程学会、电动汽车产业技术创新战略联盟

彭 鑫 复旦大学

高 家 兵 奇瑞汽车股份有限公司

吕 健 波 合众新能源汽车股份有限公司

黄 钧 紫光同芯微电子有限公司

钟 卫 东 中瓴智行（成都）科技有限公司

范 成 建 北京经纬恒润科技股份有限公司

指导专家组

组 长

张 俊 智 清华大学、中国汽车工程学会智能底盘分会

成 员

陈 贇 复旦大学

张 晓 谦 中国第一汽车股份有限公司研发总院

李 论 中国第一汽车股份有限公司研发总院（红旗）

李 泽 彬 东风汽车集团有限公司研发总院

文 洋 重庆长安汽车股份有限公司

张 毅 峰 上汽集团创新研究开发总院

刘 慧 建 奇瑞汽车股份有限公司

杨 文 谦 长城汽车股份有限公司

方 高 明 采埃孚汽车科技（上海）有限公司

章 京 瑶 博世汽车部件（苏州）有限公司

刘 栋 博世华域转向系统有限公司

任 强 华为数字能源有限公司

于 雅 琪 北京经纬恒润科技股份有限公司

梁 浩 普华基础软件股份有限公司

张 东 旭 东软睿驰汽车技术（上海）有限公司

徐 克 合肥杰发科技有限公司

杨 斌 紫光同芯微电子有限公司

刘 志 坤 国家智能网联汽车创新中心

柴 文 蔚 苏州爱索企业管理咨询有限公司

参编单位

复旦大学

香港理工大学

南京理工大学

国家智能网联汽车创新中心

电动汽车产业技术创新战略联盟

东风汽车集团有限公司研发总院

上汽集团创新研究开发总院

奇瑞汽车股份有限公司

长城汽车股份有限公司

合众新能源汽车股份有限公司

博世汽车部件（苏州）有限公司

博世华域转向系统有限公司

采埃孚汽车科技（上海）有限公司

华为数字能源有限公司

北京经纬恒润科技股份有限公司

国汽智控（北京）科技有限公司

吉孚汽车技术（苏州）有限公司

易特驰汽车技术（上海）有限公司

普华基础软件股份有限公司

国科础石（重庆）软件有限公司

东软睿驰汽车技术（上海）有限公司

中瓴智行（成都）科技有限公司

紫光同芯微电子有限公司

合肥杰发科技有限公司

英特尔中国有限公司

苏州爱索企业管理咨询有限公司

参研单位

中国第一汽车股份有限公司研发总院

重庆长安汽车股份有限公司

北京汽车研究总院有限公司

广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院

雷达新能源汽车（浙江）有限公司

中汽创智科技有限公司

浙江万安科技股份有限公司

上海保隆汽车科技股份有限公司

恒创智行（浙江）电控制动系统有限公司

比博斯特（上海）汽车电子有限公司

惠州市德赛西威汽车电子股份有限公司

布雷博制动系统有限公司

目录

导言	9
第 1 章. 智能底盘发展现状及趋势.....	10
1.1 线控技术	10
1.2 集中控制	13
1.3 滑板底盘	15
1.4 智能化软件技术	16
第 2 章. 智能底盘操作系统架构及关键技术.....	19
2.1 智能底盘软件演进	19
2.2 智能底盘操作系统架构	20
2.2.1 智能底盘操作系统参考架构.....	20
2.2.2 智能底盘操作系统架构特点.....	23
2.3 智能底盘操作系统关键技术	26
2.3.1 系统软件.....	26
2.3.2 功能软件.....	30
2.3.3 芯片技术.....	37
第 3 章. 智能底盘应用开发.....	39
3.1 软件开发工具	39
3.2 软件开发流程	41
3.3 软件开发安全要求	42
第 4 章. 未来展望和发展建议.....	45

附录 1: 产品案例	49
附录 2: 缩略语表	54
附录 3: 主要参与单位及专家	57

导言

智能底盘操作系统是一种运行在智能汽车底盘的广义操作系统，用于管理和控制智能汽车底盘系统的基础软件平台，支撑底盘功能集中开发、跨域融合，最终实现整车中央集中控制，也是汽车智能化的重要组成部分之一。

传统底盘围绕发动机、变速箱等部件设计，众多子系统通过机械连接和传动实现功能，结构复杂，运动方式相对固定。传统底盘大多由分布式多个独立的 ECU 组成，包含以 AUTOSAR CP 为主的实时操作系统及通用中间件等，其支持各个控制单元的实时控制功能以及底盘各系统的实时数据交换和协同控制。

近年来，随着电子电气架构向集中式演进，车内计算与通信能力迅猛发展，高阶自动驾驶技术加速落地，分散式底盘多 ECU 形态加速向集中式智能底盘域控制器发展。智能底盘操作系统面向域控制器更复杂的功能场景和硬件需求，实现与域控硬件的解耦及优化，支撑底盘域内各子系统高效融合开发集成、以及与动力域、智能驾驶域、车外网联等跨域功能扩展，融入数据闭环、安全技术、支撑 AI 和云计算等。智能底盘操作系统是支撑智能汽车的全面智能化，更加安全和高效的自动驾驶的关键技术之一，也是实现车能路云多生态融合的智能底座。

依托电动汽车产业技术创新战略联盟、中国汽车工程学会汽车基础软件分会、中国汽车工程学会智能底盘分会，《智能底盘操作系统白皮书》联合行业力量，共同提出面向中央集中式电子电气架构趋势的智能底盘操作系统创新架构及关键技术，助力智能底盘技术创新与产业落地，推动汽车产业的升级，提升我国汽车产业在全球市场竞争力。

第1章. 智能底盘发展现状及趋势

智能底盘技术作为汽车智能化与电动化发展的关键支撑，正经历着从基础电子控制到高度集成化、智能化的转变。线控技术、集中控制、滑板底盘和智能化等多方面技术的发展使智能底盘各子系统更加深入地融合，完成车辆动态控制，实现高阶自动驾驶功能，为用户带来更加安全、高效和个性化的驾驶体验。

1.1 线控技术

线控系统由传感器采集驾驶员的操纵信息，ECU 对传感器信息进行分析，并通过应用算法控制执行器实现驾驶员期望动作。线控系统主要包括线控制动、线控转向、线控悬架、线控驱动等子系统。

（1）线控制动

线控制动可分为 EHB 和 EMB。EHB 是目前产业化主流产品，分为 Two-box 和 One-box 方案。Two-Box 方案中，ESC 和电子助力器相互独立、互为冗余；One-box 方案集成真空助力器、主缸、电子真空泵、ESC 等，可实现减重、降本。随着 EHB 技术逐步成熟，产品的搭载率持续提升。

EMB 绕开电磁阀类等核心部件，取消制动液回路，是真正意义上的全线控制动，具有控制灵活、结构简单、效率更高等优势。当前国内有近 30 余家企业正在开展 EMB 技术的开发。同时，我国在 EMB 标准法规方面的取得重要突破，预计 2025-2026 年可实现 EMB 国产上市。

（2）线控转向

线控转向摒弃了传统转向系统中方向盘与转向轮之间的机械连接，完全通过电子信号和电气元件来实现转向操作的传递与控制。线控转向技术

可以根据不同的驾驶场景和车速自动或手动调节转向传动比，同时通过电子信号传输指令能够实现快速响应，使车辆的转向更加敏捷。

早期的线控转向通过离合器控制转向传动轴的通断实现方向盘与转向器的解耦，系统正常时离合器断开，通过电信号控制转向；系统故障时离合器接合，通过机械系统控制转向。当前市场上的线控转向方案取消中间传动轴，完全通过电信号控制转向动作及冗余。目前国内多家企业正在开展线控转向技术研发，预计 **2025-2026** 年可实现线控转向量产。

后轮转向目前在全球范围内正处于快速发展阶段，豪华车型搭载率相对较高。随着技术成本的降低和消费者对驾驶体验要求的提高，预计后轮转向技术在未来新能源汽车的搭载率将会进一步提升。

（3）线控悬架

线控悬架通过整合传感器和电控系统，将传统的弹性和减震元件升级为可主动调节的智能元件，实现了悬架系统的智能化和精准调节，包括连续可调阻尼控制减振器、空气弹簧、磁流变减振器、主动稳定杆和液压全主动悬架等主要组成部分。磁流变减振器技术具有减振效果好、响应速度快等特点；主动稳定杆通过电动马达控制稳定杆两侧的摆动，实现整车侧倾刚度的实时变化，进而提升车辆的稳定性、舒适性及越野性能；液压主动悬架可根据汽车的运动和路面状况检测与预瞄适时调节悬架的刚度和阻尼，在车身振动的全频段范围内兼顾平顺性与操纵稳定性。由于磁流变减振器、主动稳定杆及液压主动悬架成本较高，其应用尚不如空气弹簧和连续可调阻尼控制普及，未来随着成本降低和技术进步，有望获得更多市场份额。

汽车悬架正在经历由被动悬架向主动悬架的升级。以空气悬架和连续

可调阻尼控制为主的半主动悬架成本逐年下降，已成为整车舒适性和差异化的重要配置；线控悬架成本较高，目前仅在部分高端车型上实现应用，国内高校及相关企业均已开展相关自主研发并取得一定成果。随着技术持续进步和成本不断降低，线控悬架将得到更广泛的应用。

（4）线控驱动

线控驱动系统根据驾驶员动作和汽车各种行驶信息分析驾驶员意图，实时控制动力装置（发动机或电机）输出功率，通过变速器、减速器等装置将动力传递至车轮，驱动车辆行驶。

随着我国汽车电动化的发展，驱动电机占据的比重越来越多，驱动电机根据数量及布置位置可分为（前/后）单电机、双电机四驱、后双电机、三电机、四电机，多电机分布式驱动系统为底盘带来动力性、操控性等性能提升的优势，驱动扭矩链路闭环时间的缩短，可以实现驱动和制动的高效协同，扩大车辆控制的物理边界提升整车价值。多电机分布式驱动系统逐步成为行业热点，搭载率逐年增加。同时，伴随着多电机分布式驱动的应用，推动轮边电机、CTB、CTC等技术发展，驱动系统与制动、转向等系统产生了更多的耦合功能，动力与底盘域的功能整合趋势愈发明显。

线控技术推动智能底盘向分布式执行演进，如将制动、转向、悬架、驱动等执行器集成在轮端等。同时，线控技术发展对操作系统提出更高要求，线控制动及转向系统作为整车的安全保障，需要高实时性、高安全（包括功能安全、信息安全、网络安全等）操作系统；与各类传感器的感知融合是线控悬架技术的高端应用，线控驱动技术促进底盘与动力系统更深融合，均需要操作系统支持更高性能及算力的芯片。

1.2 集中控制

智能底盘一体化集中控制打破了传统底盘各系统之间的界限，实现了各部分的深度协同，从底盘域控、动力底盘域控逐步向中央域控的集成化方向发展。

（1）底盘域控

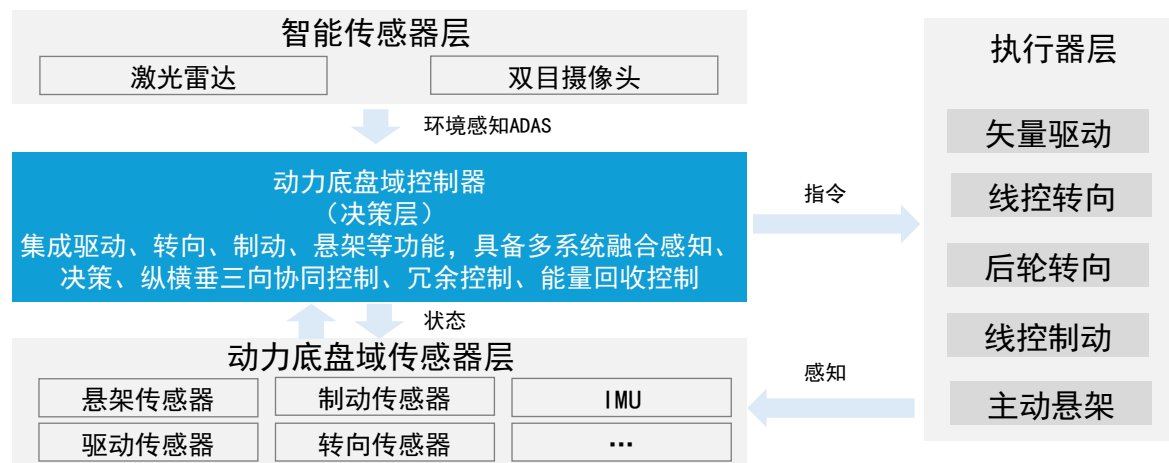
底盘控制分为传统分布式控制（单个控制器控制单个系统）和底盘域控（域控制器控制多个系统），底盘域控是底盘控制发展的方向。底盘域控融合硬件与智能底盘操作系统，定制和扩展多向协同应用功能，将原本分散的底盘系统统一调度，实现 XYZ 三向高效精准的协同控制，优化系统间的协调与通信，增强不同系统之间的兼容性和互操作性，提升车辆的操控稳定性及驾驶舒适性，实现软件更新和高效功能升级，更好的支撑高等级自动驾驶，并为进一步实现跨域、多域融合协同控制和智能扩展奠定基础。

当前底盘各个系统控制仍以分布式为主，部分主机厂正在尝试将底盘系统的控制功能逐步集成到域控制器中，如转向悬架和制动、转向和制动、转向和轮边电机等的融合。

（2）动力底盘融合控制

随着汽车电动化、轻量化、智能化的发展以及用户对汽车极致性能的追求，动力域和底盘域的界限逐渐模糊，向更高的集成度发展。动力底盘域的融合控制使汽车实现更多智能化功能，例如，差动转向功能通过矢量电机智能扭矩分配策略控制左右车轮的转速差异甚至反转，实现驱动、转向系统的高效协同，改善转向性能，提升整车灵活性；复合制动和能量回收功能通过

矢量电机的智能扭矩分配策略使矢量电机在制动不足或者制动失灵时高效协同制动器，保证操纵的稳定性，增强安全性等。



智能底盘-动力底盘域控制器

越来越多的主机厂及供应商投身于动力底盘融合控制的研究，并在新能源车型实现量产。通过动力底盘域的深度融合和智能化控制，车辆能够根据不同的驾驶场景和路况信息智能调整车身姿态和动力输出，为驾驶者提供更加智能、安全的驾驶体验，实现车辆在不同工况下的最优性能表现和动态驾驶性能。

(3) 中央域控

中央域控架构将多个独立系统（如智能座舱、智能驾驶、智能底盘等）集成到一个计算平台上，不仅简化了整车的电子电气架构设计，降低了线束长度和成本，还提升了数据传输效率和车辆智能化水平。通过中央集成控制管理车辆的底盘域、动力域、智驾域和车身域等关键系统，可以实现更高效、更安全、更舒适的驾驶体验。中央域控计算单元由多种异构芯片组成，集成广义操作系统，实现整车数据处理与分析、算法执行、系统协调与控制、决策与响应、安全与冗余管理。

国内外已经有多家主机厂通过智驾域与座舱域的融合逐步实现中央计算平台的落地。随着下一代电子电器架构逐步向中央集中、车云一体化计算架构发展，中央域控及整车全域操作系统的应用前景将会更加广阔。

目前，如何实现各子系统间标准化、兼容性和扩展性，满足复杂系统环境中严格的实时性、安全性、可靠性需求仍是智能底盘集中控制技术面临的重要挑战；与智能驾驶类似，大算力、芯片加速、数据闭环、信息安全、云计算、AI 甚至大模型等也是智能底盘集中控制技术发展的关键因素；同时，如何实现复杂软件系统开发与验证，以及对整车成本的控制也是主机厂重要探索方向。

1.3 滑板底盘

滑板底盘作为一种创新的设计概念，其核心在于底盘与车身及座舱的分离，并将分散在底盘各处的机电零部件整合进一个“箱体”，作为独立模块进行开发和优化。滑板底盘技术能够实现上下车身机电的完全解耦，仅依靠电子设备指挥与控制 and 车辆运动相关的执行器，满足高级智能驾驶、人工驾驶或其他智能体驾驶的控制需求。高度电气化减少了机械零部件的使用，不仅能够释放出更多空间，也推动了车辆的高级智能化进程。滑板底盘具备高通用性，可以缩短整车研发周期，如基于同一滑板底盘开发不同车型时，三电与底盘控制系统只需进行适应性微调，即可满足多款车型的多元化需求。在轻量化方面，滑板底盘结合 CTC 技术降低整车重量。此外，滑板底盘以通用硬件为基础实现软件定义，通过 OTA 技术持续迭代滑板底盘功能，推动整车智能化升级。

随着智能驾驶技术的不断成熟及商业化落地，滑板底盘受到整车厂及 Tier1 供应商关注。在国际市场上，多家电动汽车初创公司将制动、转向、悬架、驱动系统集成在一个紧凑的模块中，进一步简化了滑板底盘。在国内市场上，也有基于滑板底盘研发的纯电物流车、Robotaxi 及量产乘用车。

滑板底盘通过集中控制实现底盘与动力功能融合，操作系统需要支撑不同子系统在新的融合系统中功能协同及解耦、软件兼容和扩展、系统迭代、集成调试等。

1.4 智能化软件技术

智能底盘不仅仅是现有功能实现的硬件集中、软件统一和协同，更是底盘功能的智能化提升，如 SOA、AI 技术、大数据甚至大模型应用、车云一体实时协同等。如智能底盘依托智驾域和 SOA 架构能够实时感知和理解驾驶场景，通过自身和更多数据，基于大数据分析或大模型，在域内、车内或边缘云端计算和自动优化底盘参数，以适应不同的驾驶条件，从而提供最佳的驾驶体验。当下，智能底盘的 SOA 及车云一体计算架构、跨域跨车云通信、大数据大模型技术已经在研究或应用中。

当前几种面向服务、云原生和车云一体的开源架构，可应用在智能驾驶域、智能底盘域以及整车全域。如 Eclipse SDV 开源软件平台，为底盘控制软件开发提供灵活架构以应对复杂的硬件环境，并通过模块化设计支持不同的汽车厂商和供应商在共享基础上进行差异化开发。SOAFEE 是一种用于支持汽车行业中边缘计算和实时处理的开放架构和开源参考实现，适合复杂的底盘控制系统，在需要大规模处理数据的情况下仍能保持高性能

和高效能。

跨模块、跨操作系统、跨 CPU 及跨域通信已经广泛应用在智能驾驶域及底盘域，如 DDS、SOME/IP 等技术得到业界的广泛关注和应用。DDS 是一个实时的发布-订阅通信中间件，提供了高度可靠的低延迟数据传输能力，支持车辆传感器、执行器和控制单元之间的高速数据交换。SOME/IP 是一种基于 IP 协议的服务导向通信中间件，它允许车辆的各个子系统通过网络进行通信，并提供了丰富的服务发现和管理机制。

SOA 架构和跨域通信技术的应用，使底盘的数字感知与处理能力得到了极大提升和扩展，新的底盘应用层出不穷，如可通过智驾域感知服务得到及预测 3D 场景中的体素占据状态和语义信息，实现对复杂环境的全面理解和智能化控制；通过底盘域控内的云原生架构以及车云统一接口，在云端存储及管理海量单车及车队数据，通过数据湖与数据仓库实现高效查询和分析，如分析优化底盘控制参数并实时下传到域控内，提高驾驶的安全性和舒适性；底盘实时控制模型可跨域及车云协同运行，MPC 和 RL 是两种主流的参数动态调优算法，MPC 通过模型实时预测车辆动态行为，自动调整控制底盘参数，RL 通过与环境交互学习，优化底盘控制策略，应对不确定性和复杂性。此外，AI 甚至大模型也应用到动力底盘控制，智能底盘需要持续收集并在车端或和云端协同分析计算，优化和更新 AI 模型和控制算法，优化后的底盘控制参数如在云端需传输回车内，车辆运行效果作为新的数据反馈回云端，形成闭环控制，进一步提升模型和系统性能。

全球汽车产业正在经历百年未有之大变局，作为汽车电动化与智能化

融合的有机载体，底盘正面临技术升级和智能化赋能的迫切需求。线控技术、集中控制、滑板底盘、SOA、AI 及云计算架构等推动底盘向智能化方向发展，智能底盘操作系统将进行新一轮重塑：

架构重塑。传统底盘操作系统架构基于硬件功能划分，结构封闭，相互独立。随着智能底盘功能集成，需要新的操作系统架构统筹规划智能底盘软件应具备的功能模块及交互关系。在分布式、模块化的统一操作系统架构下，系统可灵活调用功能模块支撑应用，同时各模块可独立开发和升级，使得软件的开发、测试和维护更加高效。

功能重塑。传统底盘操作系统侧重于基本的机械控制，如简单的转向助力调节和制动压力控制。智能底盘操作系统在传统功能基础上，需要支撑更加智能的底盘功能实现，如根据车辆的行驶速度、路面状况自动调整底盘的悬挂硬度，以实现更好的舒适性和操控性。在与智能驾驶深度融合场景下，智能底盘操作系统要能够接收来自智能驾驶系统的指令或通过计算实现简单的路径规划，完成对车辆行驶轨迹的精确控制。

开发流程重塑。传统底盘操作系统的开发是在硬件基本确定之后进行软硬件适配。智能底盘采用软硬件并行开发模式，实现更高效的功能开发及迭代。开发团队先定义软件的功能和接口，在按照这些要求进行硬件的设计和优化。例如，可以提前规划好电池管理系统与底盘动力控制系统之间的交互方式，同步设计合适的电池和电机接口，大大缩短产品的开发周期。

智能底盘操作系统重塑需要更广泛的定义支撑智能底盘与智能驾驶及智能座舱向融合演进，同时也需要创新架构为智能底盘软硬件技术协同发展及产业分工提供参考和指引。

第2章. 智能底盘操作系统架构及关键技术

2.1 智能底盘软件演进

智能底盘软件演进分为以 **ABS** 为代表的发展初期，以 **AUTOSAR** 为标志的标准化时期以及融合发展时期：

汽车底盘软件发展初期。在智能底盘软件发展的初期阶段，其主要目标是通过软件和电子控制器来提高汽车底盘性能，安全性成为这一阶段的关注重点。1978 年，德国 **BOSCH** 公司和 **BENZ** 公司联合推出 **ABS**，通过软件控制，**ABS** 能够实现更精确的制动压力调节，从而提高制动效果和稳定性。此后，**AYC**、**TCS** 等系统相继出现，进一步丰富了汽车底盘软件的功能。在这一阶段，汽车底盘软件的规模较小，安全性主要依赖开发人员的经验，尚未形成专门针对汽车应用场景的开发标准。

汽车底盘软件标准化时期。随着电子信息技术的发展，车辆上安装的电子控制器数目迅速增加，新产品的开发都有软件的深度参与，软件的规模迅速膨胀。软件开发的安全管控难、团队协作沟通成本高的问题逐渐凸显。为了解决这些问题，行业相关企业和机构于 2003 年成立 **AUTOSAR**，旨在定义和实现硬件、基础软件、应用之间的分层解耦和优化集成，基础软件封装解耦不同芯片及硬件驱动、提供标准化接口和输入输出等应用服务，以便于不同控制器的应用。同时 **AUTOSAR** 提供高效自动化的开发调试工具链，推动系统架构和接口的标准化。在 **AUTOSAR** 软件开发标准下，汽车底盘软件具备更好的可扩展性和可移植性，降低了汽车软件开发的重复性工作，提高了工作效率。

汽车底盘软件融合发展时期。随着电子电器架构向中央集中演进，智能

底盘软件进入融合发展初期。智能底盘操作系统需满足新一代硬件和应用开发集成模式以及 ICT 功能，并能持续更新和高效扩展。目前，底盘控制功能逐渐集成，底盘域各子系统控制软硬件解耦，算法上移至域控制器。底盘域控制器承担智能汽车“小脑”功能，通过软件对更多底盘域信号进行融合处理，生成期望控制信息，对各个子系统进行协调控制，实现更多功能及场景应用，如蟹行乐趣驾驶、高速极限避障、横向平移、原地转向、预稳定控制等，部分功能已进入开发落地阶段。面向中央集中控制，底盘将进一步与动力、智驾及座舱域融合，功能边界不断拓展。如在底盘与动力域融合架构中，域控制器根据车辆的行驶和电池状态信息，精确控制制动力度，提高制动能量回收效率；在底盘与智驾域融合架构中，根据不同的驾驶模式，底盘系统可以调整悬架的硬度、转向的力度和制动的灵敏度，以满足用户对舒适性和操控性的需求；在无人驾驶场景中，底盘域控制器需要随时接收远程控制信息以实现安全保底功能。智能底盘需要构建集中统一的软件架构满足电子电器架构发展趋势，支撑底盘域复杂的软硬件环境及功能拓展。

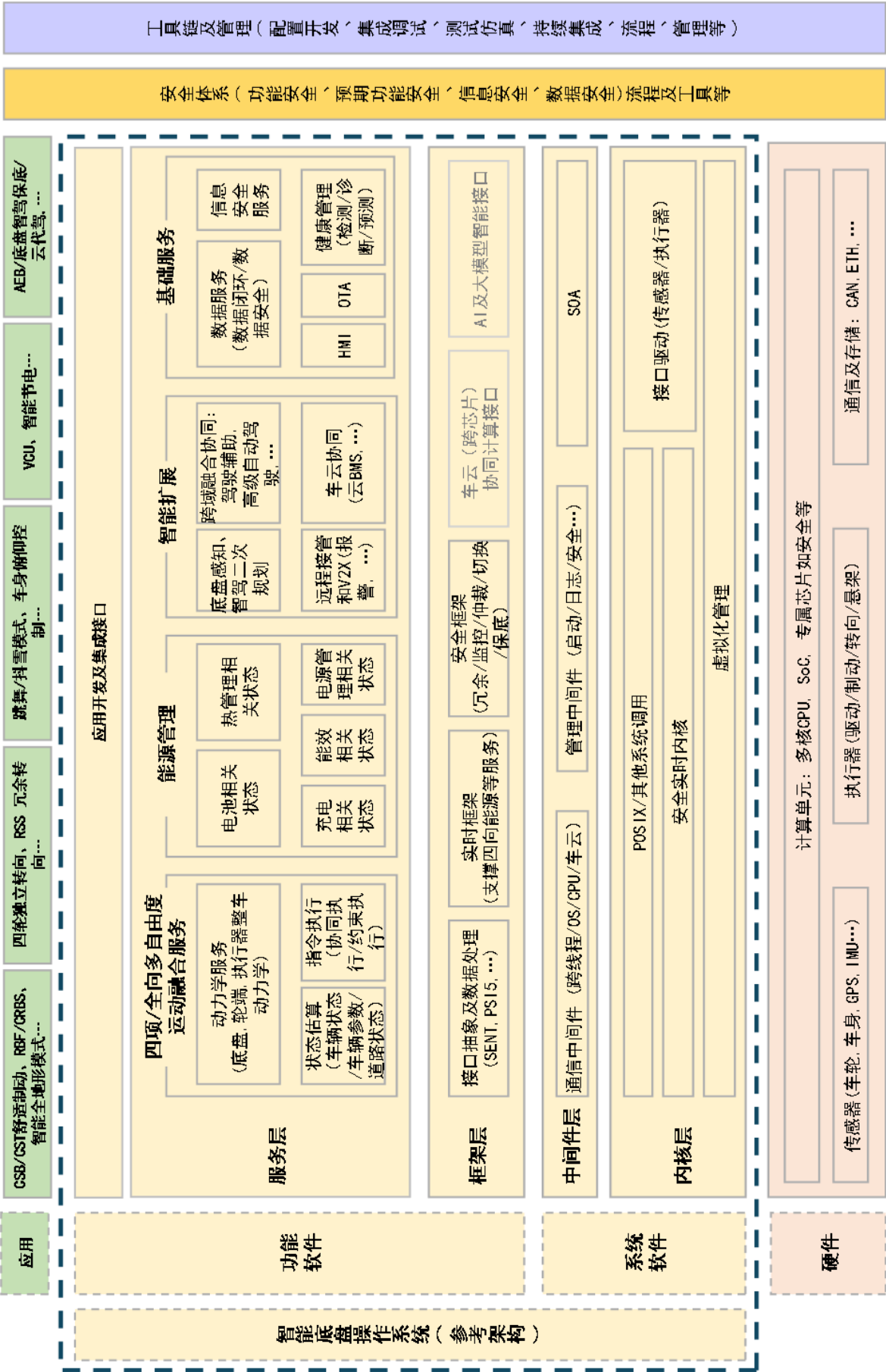
2.2 智能底盘操作系统架构

2.2.1 智能底盘操作系统参考架构

智能底盘操作系统架构是指面向底盘域控、中央计算及车云一体三级智能计算架构的广义操作系统参考架构。核心目标是为企业提供全面的智能底盘操作系统逻辑架构，企业可根据不同电子电器架构灵活规划及部署功能模块，实现智能底盘应用的高效集成、定制化开发及智能化扩展；未来，智能底盘可以与智能驾驶、智能座舱等域广义操作系统融合成为整车全域

操作系统，进一步支撑汽车智能化升级。

智能底盘操作系统参考架构采用分层设计，支持软硬件解耦和操作系统与应用解耦及优化；支持高性能计算芯片、多种传感器、执行器、通信网络和电子电器架构；提供实时、安全框架，确保高确定性和高实时性的服务运行，满足功能安全、信息安全等要求；支持 **SOA** 软件架构、车云协同计算框架，集成跨平台统一应用接口，实现智能底盘及跨域融合应用拓展；提供四项多自由度融合、能源管理、智能扩展及基础服务支持。



框架层

接口抽象及数据处理 (SENT, PSIS, ...)

实时框架 (支撑四向能源等服务)

安全框架 (冗余/监控/仲裁/切换/保底)

车云 (跨芯片) 协同计算接口

AI及大模型智能接口

中间件层

通信中间件 (跨线程/OS/CPU/车云)

管理中间件 (启动/日志/安全...)

SOA

内核层

POSIX/其他系统调用

安全实时内核

接口驱动 (传感器/执行器)

虚拟化管理

硬件

计算单元: 多核CPU, SoC, 专属芯片如安全等

传感器 (车轮, 车身, GPS, IMU...)

执行器 (驱动/制动/转向/悬架)

通信及存储: CAN, ETH, ...

安全体系 (功能安全、预期功能安全、信息安全、数据安全) 流程及工具等

工具链及管理 (配置开发、集成调试、测试仿真、持续集成、流程、管理等)

智能底盘操作系统 (参考架构)

系统软件分为内核层和中间件层。系统软件可兼容 AUTOSAR CP/AP 标准，通过实时内核与虚拟化管理对硬件资源进行合理的分配与调度，为复杂的功能及应用提供安全实时稳定的基础支撑；通过接口驱动实现对计算单元、传感器及执行器等硬件的综合控制。

功能软件分为框架层和服务层。功能软件根据智能底盘功能的核心共性需求，提供功能框架及服务组件，借助标准的应用软件接口，为上层应用软件的开发与集成提供有力支持，实现操作系统与应用软件解耦。

安全体系是指智能底盘全生命周期所需的安全流程及工具等，包括功能安全、预期功能安全、信息安全及数据安全等。

工具链及管理为智能底盘操作系统及应用的高效开发迭代提供支撑，包括开发调试工具、测试仿真工具、持续集成工具及先进的管理方法流程等。

智能底盘操作系统接入计算单元、传感器、执行器、通信及存储等硬件资源，并支撑复杂应用的开发与运行。通过对计算平台的资源分配与调用，和对多传感器及执行器的数据抽象处理，支撑智能底盘四项多自由度融合控制，结合先进的通信技术，支持智能底盘软硬件的远程控制和更新，并与智驾域、座舱域、车身域等集成，实现整车驱动制动转向悬架、热管理、远程控制等功能全面智能化。

2.2.2 智能底盘操作系统架构特点

立足智能底盘发展新阶段，结合当前量产应用实践，同时适应未来高级别自动驾驶落地及电子电气架构中央集中趋势，定义智能底盘操作系统总体架构。该架构在兼容 AUTOSAR CP/AP 标准基础上，对智能化共性服务框架进行了升级：系统软件方面，加入虚拟化管理及 SOA 框架；功能软件

方面，定义接口抽象及数据处理、实时框架、安全框架，提出车云协同计算框架，服务层集成底盘域及跨域共性服务软件组件，灵活实现应用功能开发及部署。其具体特点如下：

分层解耦。针对智能底盘的硬件、传感器、应用等，智能底盘操作系统定义了新一代分层解耦软件架构。各层次间优化低耦合，通过标准化接口形成新的产业分工，提升了操作系统的灵活性、可维护性和可扩展性，便于开发管理和集成优化。同时，分层解耦可以更好地整合产业链资源，促进各环节之间的分工与协同创新。各层次间功能划分明确，企业依据自身优势更加专注于特定层次的产品开发，在各领域发挥最大的价值，同时统一的标准及规范使各企业间建立紧密联系，共同推动产业链的协同创新。

异构融合。智能底盘操作系统架构支持并包含多层级的异构单元及其融合，为智能底盘及整车技术创新提供了更广阔的空间和可能性。硬件上支持 MCU/域控/区控/中央域控等多种芯片及传感器形态，多种电子电气架构；系统软件支持虚拟化管理、安全实时内核及不同接口驱动、通信及管理中间件；功能软件框架层覆盖实时、安全，以及车云计算和大模型计算框架；服务层包含车辆底盘应用的融合服务、能源管理及其他域的智能化扩展，以及数据和安全等 ICT 基础服务；应用方面高效支持底盘域功能、SOA 跨车内域应用、车云一体跨车云应用，通过统一的接口和通讯机制实现多域之间的数据交换和功能协同，为丰富多场景应用提供透明支撑。

高实时和高安全。智能底盘操作系统架构满足底盘控制系统对高实时性和高安全性的要求。高效实时的内核及实时框架可以支持复杂控制算法和高频的传感器数据处理，确保系统反应快速、可靠；通过虚拟化技术、安

全框架、信息安全及数据安全等基础服务形成多层安全防护体系，确保智能底盘系统在复杂多变的环境下仍然保持稳定可靠的运行。

软件定义。在智能化方面，智能底盘操作系统提供和接受智驾域、座舱域等的服务，实现底盘功能 SOA 下的开发和和扩展；智能底盘操作系统也可插入 L2 等基本功能实现 ASIL-D 级的安全保底；此外，智能底盘操作系统实现和支持数据采集处理闭环功能、数据安全、信息安全、OTA 等智能化功能升级，远程接管和 V2X 服务，底盘域计算跨域及跨云支持、AI 及大模型计算框架等。

应用方面，企业可以根据不同系统及物理架构对智能底盘操作系统参考架构进行剪裁与部署，如对于转向制动融合系统，智能底盘操作系统会自动裁剪为只包含转向制动的操作系统；而对应动力底盘融合系统，将会部署完整的智能底盘操作系统。



智能底盘域控制器物理架构

2.3 智能底盘操作系统关键技术

2.3.1 系统软件

系统软件是运行智能底盘应用和功能的复杂大规模嵌入式底层软件，包括内核层与中间件层。

(1) 内核层

安全实时内核是智能底盘操作系统的核心部分，负责处理系统中所有实时任务，并确保任务能够在严格的时间限制内完成。其关键技术包括实时调度器、时间分区、内存保护机制和容错与冗余设计。

实时调度器负责管理系统中所有实时任务的执行顺序。常见的调度算法包括固定优先级调度（如 **RMS**）和动态优先级调度（如 **EDF**）。时间分区技术通过将系统的时间划分为多个分区，每个分区分配给不同的任务或进程，确保每个任务在其分配的时间段内独占系统资源。内存保护机制用于防止恶意代码或故障任务访问或修改其他任务的内存区域。这通常根据具体芯片的硬件特性来实现，如 **MPU**、**MMU** 等。实时内核通常集成容错与冗余设计提高系统可靠性和安全性。实时内核还可能采用冗余任务执行和错误检测与恢复机制，以应对硬件或软件故障，同时智能底盘操作系统内核代码量控制在一定范围，为功能拓展带来的代码增加留下冗余。

此外，**Rust** 安全语言在智能底盘领域具有显著优势。如 **Rust** 语言的强内存安全性和线程安全性可以确保在复杂的实时控制场景下，程序不会出现内存泄漏、野指针等问题，保证智能底盘操作系统实时内核的稳定运行；在处理底盘传感器的高频数据时，**Rust** 语言可以通过优化数据结构和算法，减少数据处理的延迟，提高系统的实时性。目前，**AUTOSAR** 成立工作组支

持 Rust 语言的应用开发，国外芯片及软件厂商已推出与 Rust 相关的编译工具或模块。同时，Rust 与现有汽车软件架构相融合，随着相关工具和库日益丰富，其开发及应用生态得到不断完善。

虚拟化技术是汽车电子电气架构由分散式向域融合、中央集中式架构演进的关键组件，可支持资源可靠隔离、资源高效复用、兼容异构操作系统、软硬件深度解耦。

智能座舱已率先完成基于虚拟化的融合，仪表、中控甚至副驾屏等多个系统可运行于一个 SoC，满足不同功能安全等级、业务特性的并行运行需求。智能驾驶正在进行融合演进，包括多源感知、融合决策、规划控制以及舱驾融合，基于功能安全、信息安全、运行性价比、运维效率等多维度考虑，业务系统的灵活部署需要虚拟化支撑。更进一步，域融合将渗透到汽车的核心功能领域-智能底盘。智能底盘的域融合动力同样来源于开发及运维成本、智能化、网联化，约束条件是安全可靠。智能底盘将涉及四向底盘、动力、车身的融合，以及 AI 算力的融合，其技术发展方向有可能是基于 MCU 架构向上演进集成更多功能，也有可能是基于 SoC 架构向下演进覆盖现有 MCU 功能，都存在着较大的技术挑战，虚拟化在两种演进路线中都发挥重要支撑作用。

一是 MCU 融合化、智能化。MCU 在保证实时性、可靠性的基础上，正在持续提升算力，以支持部署更复杂的业务功能，同时也在探索硬件虚拟化能力，以支持多运行环境，确保相互之间充分隔离、免于干扰。同时，为实现底盘智能化，需要 MCU 集成相应的 AI 算力。在 AIOT 领域，已经有 MCU+AI+SRAM 的技术架构，运行小模型 AI。由于 MCU 芯片架构更加特

殊化，虚拟化支持能力、技术架构差异很大，目前还没有规模商用、支持多种 MCU 架构的通用虚拟化产品，需要推动 MCU 芯片领域尽快形成共识的技术路线、标准规范，减少虚拟化开发适配工作量。

二是 MPU 融合 MCU 功能。车用 SoC 芯片越来越重视车规级安全，目前已可支持芯片级 ASIL-B、系统级 ASIL-D。SoC 已可以将 APU 应用处理器、MCU 微控制器集成在一起，分别承担不同安全等级、业务特性的功能；同时业界也在研究基于 A 核来运行强实时、高可靠、高安全业务的可行性，比如底盘控制、动力总成等。因此，也存在着智能底盘与舱驾完全融合的演进可能性。虚拟化根据底盘、动力总成的业务需求，为其分配独立锁定 CPU 资源（比如大小核中的小核），分配确定的 NPU AI 算力资源，同时分配实时性、确定性更好的 SRAM 内存资源，以满足高功能安全等级要求。外设资源方面可以提供 PassThrough 直通，或者共享复用的虚拟化方式。

POSIX/其他系统调用为操作系统提供标准化的接口，使得应用程序可以无缝地在不同操作系统上运行，确保系统的兼容性和可移植性。

接口驱动是连接硬件层和内核层的桥梁，负责管理和控制各种硬件设备的工作状态，并提供统一的接口供上层软件调用。关键技术包括模块化驱动架构、统一设备模型、高效 I/O 处理、硬件加速支持等。

模块化驱动架构是将驱动程序设计为独立的模块，可以根据需要动态加载或卸载以提高系统的可扩展性，简化了驱动程序的开发和维护工作。**统一设备模型**是一种抽象层，它为操作系统中的所有设备提供了统一的接口和操作方法，使操作系统能够更高效地管理传感器、执行器、通讯等多种设

备，并且简化了设备驱动的开发工作。**I/O 设备**的性能直接影响到系统的整体响应速度和实时性，通过中断处理、**DMA** 和 **I/O 队列管理**等技术可以提升 **I/O 处理效率**。随着智能底盘操作系统功能的日益复杂，通常会利用**硬件加速器**（如 **GPU**、**FPGA**、**TPU** 等）来处理特定的任务，从而提高系统的整体性能。

（2）中间件层

中间件层通常包含通信中间件、管理中间件和 **SOA 框架**。

通信中间件支持各种通信协议和数据格式，以实现与各种传感器和执行器数据及不同域之间的数据流和指令传输无缝衔接。通信中间件关键技术包括消息传递与总线架构、实时通信协议、数据序列化与反序列化、分布式通信架构等。

消息传递机制是通信中间件的基础，它允许系统中的各个组件通过消息队列或主题订阅等方式进行数据传输。**总线架构**通过建立一个统一的数据传输通道，将系统中的各个模块连接起来，实现数据的集中式管理。**实时通信协议**确保智能底盘操作系统数据传输的及时性和可靠性，如 **CAN**、**Ethernet** 等，这些实时通信协议确保了系统中的关键控制信息能够在严格的时间约束内传递，避免了因通信延迟而导致的系统失效。高效的**数据序列化**技术能够减少数据传输的体积，提升通信效率，如 **Protocol Buffers**、**Apache Thrift**、**Avro** 等。针对更加复杂的车辆内部系统结构，**分布式通信架构**通过将计算和控制任务分散到多个节点上，增强了系统的可扩展性和容错能力。整车数据交互技术的实现需要基于数据的发布和订阅机制，对底盘域的所有信号进行管理，在整个底盘域内定义统一的数据传输策略，进而

对每个 ECU 对应的发布和订阅机制进行配置。

管理中间件负责协调系统资源、调度任务、监控系统状态，并提供必要的维护 and 安全管理功能。其关键技术包括资源管理与调度、自动化工具和工作流引擎、诊断与故障管理、安全管理等技术。

资源管理与调度是确保系统高效运行的核心功能。管理中间件通过动态分配系统资源，确保关键任务能够按时完成。自动化工具和工作流引擎能够提高任务管理的效率和可靠性，如 **Kubernetes** 用于管理分布式应用的生命周期，实现任务的自动化调度和故障恢复。**诊断与故障管理**是保障智能底盘操作系统可靠性的重要措施，如通过采集和分析系统运行时的数据，实时监控系统的健康状况；日志管理系统通过集中收集和分析系统日志，帮助开发者和运维人员快速定位问题，并通过历史数据分析识别潜在的性能瓶颈或安全隐患。当系统中某一模块发生故障时，故障管理机制能够通过自动重启、故障转移等手段，快速恢复系统的正常运行。管理中间件通过集成各种安全技术，如身份认证与授权、数据加密、入侵检测与防御、审计与日志管理、安全补丁管理等，保障系统的安全性、完整性和保密性，防止未经授权的访问和潜在的安全威胁。

SOA 通过将智能底盘操作系统的各个功能模块化为独立的服务，使得系统能够灵活地进行功能组合和扩展，关键技术包括服务注册与发现、服务编排与集成、微服务架构以及服务治理等。

2.3.2 功能软件

功能软件是智能底盘应用高效开发集成及功能扩展所需的硬件抽象、实时安全、共性服务等软件层，包括框架层和服务层。

（1）框架层

框架层为服务层和应用提供基础技术支撑，由接口抽象及数据处理、实时框架、安全框架、车云（跨芯片）协同计算接口和 AI 及大模型接口组成。

接口抽象及数据处理技术是框架层中确保系统内部和外部设备之间高效通信的核心，包括接口标准化与抽象、数据格式转换与整合、数据流控制与优化等。

接口标准化通过定义统一的接口协议和数据格式，确保不同模块之间的互操作性。接口抽象则允许底层硬件与上层应用分离，使得硬件的变化不会影响到应用软件。数据格式转换技术能够将这些异构数据转换为统一格式，以便系统的后续处理和分析。数据整合技术则在此基础上，将不同来源的数据进行融合。数据流控制技术通过优化数据的传输路径和优先级管理，确保关键数据能够在最短时间内传递到相应的模块。优化技术还包括数据压缩、流量管理和带宽分配等，以应对车载网络中带宽有限的挑战。

实时框架支持有高确定性和高实时性的服务运行，确保智能底盘应用及服务能够在严格的时间限制下执行任务，保障底盘控制的核心要求。实时框架依赖安全实时内核、任务优先级管理与调度算法、实时通信协议与数据同步等关键技术。

安全框架包括冗余备份设计、对整体系统以及对各个模块或服务的监控，并通过全局仲裁机制、平滑切换及保底机制等满足智能底盘操作系统高可靠需求。安全框架是用来实现功能安全的主要部分，即自身和系统软件（如内核，中间件，内存等）的功能安全，同时提供接口，服务层中的服务及应用通过这些接口实现完整的功能安全。关键技术包括监控、仲裁、切换

及保底实现等。

监控包含系统级监控和监控服务，系统级监控是在框架层内部实现模块之间的心跳检测、失效监测；监控服务是提供给服务层和应用层的心跳检测监测等接口，便于服务和应用接入全局监控系统；**仲裁**需要根据检测结果、失效等级、模块等级等确定仲裁结果以及安全行为；**切换**是在系统失效后通过切换到备用或启动冗余方案保障正常工作；**保底**是在系统失效后通过功能降级，启动保底实现来保证系统安全降级。

车云(跨芯片)协同计算接口实现智能底盘应用或服务突破物理计算边界运行，跨车内 **MCU/SoC** 或在边缘云节点，并与底盘域控内计算实时协同。

随着模型算力的需求提升如实时数据分析及大模型，协同计算是将部分计算任务分布到靠近底盘域控的边缘设备(如车辆的 **ECU** 或者边缘云)，实现域控算力的扩展，同时满足应用所需的实时和安全。协同计算技术通过将计算任务划分为多个子任务，在域控、车内 **MCU/SoC** (如智能驾驶域) 或和边缘云端之间进行分配和执行。任务调度算法负责根据当前系统状态、任务紧急程度和可用资源动态分配计算任务。车云协同框架需要处理大量数据的实时同步和管理任务，通过高效的数据同步机制，确保车辆和云端的数据一致性。同时，基于安全框架，协同计算框架需要监控远程的延迟和可靠性，随时切换或降级。

智能底盘操作系统提供 **AI** 及大模型智能接口，以对接运行在智驾域等高计算单元上的 **AI** 及大模型智能框架。**AI** 及大模型智能框架提供当前车载大模型逐渐落地趋势下的硬件、基础软件及安全框架，包含推理硬件的解耦，

基础模型的可插扩，大模型安全，及大模型跨域计算，模型更新等。

（2）服务层

服务层为上层应用提供基础服务，支撑智能底盘、底盘动力及中央域控等跨域功能实现。

四项/全向多自由度运动融合服务（车辆运动控制相关服务）是智能底盘（广义）操作系统架构服务层中重要的组成部分，作为上层应用功能开发的基础模块被调度使用，为整车运动控制的相关上层应用功能的开发提供可复用的、模块化的、原子化或扩展式的服务，包括动力学服务、状态估算和指令执行。

动力学服务提供包含整车和执行器信息的相关服务。整车信息可以包含车辆 IMU 传感器信号，如加速度（横、纵、垂 - $X/Y/Z$ ）、角速度（横摆、侧倾、俯仰 - $Yaw\ Rate/Roll\ Rate/Pitch\ Rate$ ）及它们的信号处理与实时标定（如零漂、非线性特征纠正）等。执行器信息应包含转向、制动、悬架、驱动等的相关测量量或估计量，如转向相关的动力学服务可以提供前轮转向系统测量或处理的方向盘转角、方向盘角速度、下转角度（针对线控转向系统）、前轮轮胎的转角、扭矩传感器测得扭矩（近似手力）、后轮转向系统的后轮转角等，制动相关的动力学服务可以提供原始或经过处理的轮速信息、主缸压力、估计的轮缸压力或单轮实际制动力、其他表征制动系统工作状态的信息等，悬架相关的动力学服务可以提供相关传感器信息（如悬架高度传感器、轮端垂向加速度传感器信息）、主动/半主动悬架的控制量信息（如电流、扭矩、力）等，驱动相关的动力学服务可以提供电机转速、电机扭矩、踏板解析等。此外，执行器相关动力学服务还可以提供执行器的

执行能力信息，如允许的最大角度、最大/最小扭矩等。

状态估算服务基于整车、执行器的信息输入（如来自动力学服务或框架层的原始信息），进行更为复杂的二次计算，得到车辆状态估计的相关结果。状态估算服务可包含车辆动力学建模，为上层应用和其他服务提供统一的车辆状态计算。此外，状态估算服务还包括参考车速计算、路面附着系数估计、质心侧偏角估计、车身姿态估计（侧倾角、俯仰角）、坡度估计、质量估计、路面状况检测等。

指令执行服务负责车辆运动控制相关的指令执行，主要可以包含两个层级：一个层级是对多个执行器的集成控制进行协同和仲裁，得到每个执行器的执行目标；另一个层级是实现各个执行器对各自的控制目标的执行，如转向系统的目标角度或者目标扭矩（形式可以为叠加或者覆盖）、制动系统的目标制动力（总制动力或单轮制动力）和滑移率控制接口等、驱动系统的目标扭矩或转速控制接口等、悬架系统的目标电流/扭矩/阻尼力/悬架高度等。

能源管理模块由于具备智能底盘必备的通用功能，作为软件组件部署在智能底盘操作系统服务层。包括电池、热管理、充电、能效、电源等相关状态管理。能源管理模块可监测来自多个子系统的状态信息，并进行仲裁及合成，如电池电压、电流、温度、充电状态（SOC）、健康状态（SOH）。此外也包括 ECU 状态、充放电活动状态等。同时针对 ECU 唤醒、ECU 断电、ECU 睡眠、充放电活动管理、电源分配、电源转换等请求做执行处理。

智能扩展服务是底盘功能的智能化提升，包含底盘感知、智驾二次规划以实现安全保底或低阶智驾，基于跨域服务（如智驾域）、网联 V2X、远程控制、车云协同等外界信息或第三方计算协同的底盘功能提升和扩展。

底盘感知、智驾二次规划包括底盘的关键数据测算、估计，传感器如雷达的感知以及智驾二次规划服务。智能底盘拥有多数据获取渠道和多执行器统筹控制的优势，可以开发车身运动感知、跟踪等扩展服务，既能实现智驾的安全保底也能够独立输出部分低阶 **L2** 智能驾驶功能。基于底盘感知、智驾二次规划，高阶智能驾驶和底盘辅助驾驶在部分极限场景可实现有效协同。如在高速过弯、对开路面等场景，采用逐次递减的策略，在高阶自动驾驶由于算力消耗大、闭环控制周期长出现退出等情况时，由底盘优先接管，完成二次规划功能。底盘控制系统掌握整车控制的物理边界且控制闭环周期较短，可根据整车的物理运动模型来保障整车能够在最大的物理边界内工作，实现对智驾极限场景运行环境的扩展，可有效保证极限场景的驾驶安全。

跨域功能指智能底盘域基于其他智能车域的输入或服务输出，如驾驶辅助、高级自动驾驶等，能够直接干预车辆与乘员、道路的交互，通过跨域融合，能够进一步提高车辆的安全性和舒适性。如对 **ADAS** 目标指令进行深度优化、通过主动或半主动悬架结合座椅调节提升舒适度等；在自动驾驶或辅助驾驶的功能背景下，由自动驾驶或辅助驾驶系统提供目标轨迹，底盘域可对该目标轨迹进行分解执行。

远程接管和 V2X 主要包含车辆与车辆 **V2V**、车辆与基础设施 **V2I**、车辆与行人 **V2P**、车辆与外部网络 **V2N** 等各种应用通信应用场景。利用这些外部信息，智能底盘操作系统可以更好地识别路况、修正底盘模型计算误差，并通过控制算法避免不稳定工况。**V2X** 可以在车辆本地操控发生异常时切换远程接管，如云代驾，提高安全性。

车云协同实现高计算力的应用考虑应用实时安全特性、算力需求，自动协调分配部分应用到边缘云端计算，而对应用几乎透明，其基于车云框架层、安全框架层、实时框架层等，实现如云 **BMS**，智驾大模型推理等应用。

基础服务为智能底盘操作系统提供了关键的支持功能，确保系统的稳定运行和各模块的高效协作。包括数据服务、信息安全服务、**OTA**、**HMI**、健康管理等。

数据服务包括数据闭环与数据安全。车辆在运行过程中会产生大量的数据，这些数据需要高效的存储、查询和管理策略。基于应用需求及系统配置，数据服务按需收集预配模块的数据、处理及上传，确保数据闭环周期的实时性、可靠性、减少对系统干扰、数据安全防护等。

信息安全服务确保系统免受恶意攻击。这包括网络安全、数据加密、身份认证等多层次的安全技术。关键技术包括身份认证与访问控制、数据加密与传输保护、入侵检测与响应系统（**IDS/IPS**）。

身份认证与访问控制技术需要系统通过多种方式验证用户和设备的身份，如基于证书的认证、双因素认证等。访问控制技术则根据预定义的权限规则，限制不同用户或设备对系统资源的访问。为了保护敏感数据，达成**数据加密与传输保护**要求，系统使用强大的加密技术，如 **AES** 或 **RSA**，对存储和传输中的数据进行加密。传输保护技术如 **TLS** 可以防止中间人攻击，确保数据在传输过程中的机密性和完整性。**入侵检测系统（IDS）**通过监控系统活动，识别异常行为和潜在的攻击，如频繁的未授权访问尝试或异常的数据流量。一旦检测到入侵，**入侵防御系统（IPS）**可以自动采取措施，如阻断攻击源或隔离受影响的模块，以防止攻击的扩散。

OTA 服务是指智能底盘操作系统重连接整车内 OTA 功能的模块，接收底盘 OTA 升级信息，上传底盘 OTA 更新的结果或需求等。提高 CAN 等总线效率、压缩升级包等技术可以减少底盘 OTA 升级时间，带来更好的升级体验。同时，国内厂商积极探索在更广泛的条件下（如高压、行车状态）完成用户无感升级技术。

HMI 服务是连接座舱 HMI 的功能模块，即对接座舱 HMI，分析下发配置，上传所需数据。

健康管理是提供智能底盘各服务和应用的外部检测与诊断接口，并融合安全框架，实现全局的健康预测及监控。

2.3.3 芯片技术

随着整车电子电器架构的升级，汽车底盘控制器逐步由分布式控制单元向域控和区域控制、中央集中控制方向发展。主动安全以及整车的操控性对智能底盘及其控制器的提出了更高的要求。

智能底盘控制器应具备高可靠性与安全性（例如使用满足 ISO 26262 ASIL-D 和 ISO/SAE 21434 的控制芯片）、高实时性（实时性内核、存储和总线）、更高的数据采集、传输和处理能力以及自适应能力和自学习能力。智能底盘控制芯片承载着底盘控制器的数据采集、处理等任务，需具备较高的算力与接口能力。当前域控芯片发展逐步由单核 MCU 走向多核 MCU/SoC 架构，具备丰富的外设接口，典型的配置如符合 AEC-Q100 Grade 1 及以上、至少包含一对锁步运行的内核、主频应不小于 200MHz、功能安全等级达到 ASIL-D、具备独立的 HSM 模块、支持多通道的 CAN-FD、以太网、SPI、IIC、SENT、PSI5 等常用通信总线和传感器接口、包

含丰富 GPIO 和 ADC 资源以适用于未来更加复杂的智能底盘融合应用需求、具备系列化以支持高、中、低各类智能底盘融合应用平台化设计需求等。为进一步满足域控与区域控制的需求，底盘控制芯片的集成度也会进一步提升，会逐步将多个控制芯片集成到单颗芯片中，并通过硬件虚拟化与隔离的技术，将多个底盘系统应用软件部署到域控芯片之中，从而简化外围电路设计，灵活分配算力与外设资源，实现底盘 XYZ 三向高效精准的协同控制。

进入到中央计算阶段，底盘域控制芯片的物理形态会逐步演变成为中央计算单元的一部分，如底盘控制单元的电路与其他域控单元集成在同一硅片之上，使用区域电路隔离的技术，也可能以直接使用虚拟化中央计算资源，分配出底盘域控算力与外设，满足底盘的计算需要，同时保障高可靠性与安全性需求。

执行器端驱动及电源管理芯片，需要满足多种负载量输出，包括电磁阀驱动，无刷&有刷电机驱动，以及多路电源管理等功能；往往采用多合一集成式芯片设计架构，在片内同时集成看门狗模块，输入过压/欠压检测，输出过流、短路、断路诊断及保护等功能，在满足高功能安全等级的前提下，提高系统集成度。

第3章. 智能底盘应用开发

基于智能底盘操作系统的智能底盘应用开发是一项复杂而关键的工程，需要强大的工具链、科学的管理流程并满足严格的安全开发和流程体系，以确保底盘系统的高效、安全和可靠运行。工具链为开发者提供了高效、精准的开发手段，助力实现复杂功能的快速构建；科学的管理流程确保开发过程有条不紊、高效协同，从项目启动到最终交付都能严格把控质量与进度；安全体系贯彻产品的全生命周期，除产品内安全模块外，安全的开发流程、可视化、安全运营中心包含安全事件收集/分析/控制及应急响应等。三者紧密结合，共同推动智能底盘软件开发迈向新的高度，为智能网联汽车的发展奠定坚实基础。

3.1 软件开发工具

工具链在智能底盘应用的开发迭代的进程中发挥着至关重要的作用。完善的工具链能够提高开发效率、确保代码质量、促进软件集成与协作开发、标定、调试等。底盘系统应用功能开发多采用基于模型的开发和自动代码生成，完善的流程和工具链旨在保证开发的正确性、完整性、一致性、可追溯性等。现阶段，先进工具链也具有跨平台兼容性，融合 AI、云原生等技术的特征。同时，为摆脱国外产品依赖，保障开发流程的完整性，工具链的自主可控性同样重要。

跨平台兼容性。传统底盘控制器采用 FreeRTOS, AUTOSAR OS 等实时操作系统，开发工具主要采用基于 AUTOSAR CP 标准的 MCU 端 OS 工具等。随着智能底盘融合发展，需要更通用的开发工具以支持包括不同的处理器架构、传感器类型等的多种硬件平台，以及如 RTOS、微内核等在内的

多种内核系统。标准化的接口协议、统一的数据格式以及开发环境，使代码可以在不同的项目之间迁移复用，更加易于维护更新，从而提高代码的质量和稳定性，减少开发时间和成本。

AI 技术集成。在智能底盘应用的开发与调试阶段，AI 的应用显著提升了设计和代码生成的效率与质量。AI 通过分析底盘设计参数和性能数据，能够提出精确的设计方案建议，并自动生成关键代码。通过学习大量的代码样本和已知的代码问题，AI 可以快速准确地识别代码中的潜在错误及安全漏洞，从而确保代码的健壮性；AI 还通过静态代码分析和动态模拟等技术手段，对已生成的代码进行深入的优化。在集成测试阶段，AI 技术能够全面评估测试用例的覆盖率，并根据项目进展动态调整测试策略，确保每次构建都有针对性的测试覆盖。AI 技术的集成能够减少开发人员工作量，为智能底盘操作系统开发带来了更高的效率、准确性和可靠性。

云原生开发环境。虚拟化、容器等技术不仅能够提供隔离的运行环境，也可为开发者在云平台上一定程度模拟不同的硬件配置和运行条件，从而轻松地在各种开发场景间切换，结合云技术的优势，它还可以通过按需分配弹性计算资源，快速满足大规模的测试和验证需求。开发部署工具链与虚拟化技术及云技术的融合，为智能底盘操作系统提供了高效、可扩展的开发环境。同时，开发者可以享受到更加灵活的服务支持，实现资源的高效利用与管理。但是云平台服务器的硬件配置与车端域控制器的硬件配置存在差异，尤其是智能底盘的 MCU 硬件配置差异更大，云端虚拟化与车用虚拟技术的一致性保障是个难题，短期内难以达到互联网应用的云原生开发部署效果。

自主可控。目前国内 AUTOSAR 工具链主要依赖国际厂商的产品，

AUTOSAR 作为开放标准，中国企业在标准的理解和应用上不断加深，通过研发具备灵活配置能力的工具和代码生成器，能够支持国内企业根据需求调整软件架构和参数，并生成高效、可靠的代码。另外，研发自主可控工具链，能够实现核心基础软件与功能模块的自主研发，从而实现关键性能指标与硬件设施的研发维护流程自主可控。

此外，工具链还包含用户交互良好的开发、集成、标定、调试环境。提供应用开发人员习惯的开发界面，部分应用可提供少代码无代码的全图形化开发，支持不同硬件平台，集成不同调试环境的集中可视调试集成界面等。

3.2 软件开发流程

在智能汽车技术的快速发展背景下，中国汽车行业正面临着从传统的逆向工程和粗放式增长模式向创新驱动和精细化管理的转型。随着车辆电子电气架构的集中化和域融合技术的深入，智能底盘研发管理体系通过组织架构的优化、开发流程的标准化和自动化以及人才培养实现与技术演进的同步。

智能底盘的技术演进促进研发组织变革。智能底盘算法上移使整零关系发生变化，整车厂通过自主掌控底盘软件开发，实现了更高的创新灵活性；巨大的软件开发投入促使各研发组织构建异步开发平台，将技术开发和产品开发分离，通过流程解耦缩短整车开发周期；随着智能底盘产品形态和技术栈向高内聚低耦合演进，整车企业通过组织架构重组将底盘域和动力域整合成车辆运动 **VM** 业务单元，由以零部件为导向垂直开发向以产品为导向的横向协同发展，保证组织在更长的产品全生命周期中研产供销运各环节

节的紧密合作。

敏捷与 V 模型融合的开发模式，实现真正意义上的软件定义汽车。智能底盘软件的开发长期以来遵循 V 模型开发流程。然而，随着软件定义汽车（SDV）的发展，敏捷开发模式为底盘软件开发提供了新的活力。精益业务探索（MVP）、产品待办列表、用户故事、冲刺迭代及可视化管理等敏捷实践帮助企业围绕价值流打造透明、高效、持续改进的开发模式；通过架构设计、测试驱动开发（TDD）、单元测试及先进的分支模型等规范化方法，实现“测试左移”和工程一致性，将质量保障前置；DevOps 工程实践和 OTA 技术的引入使智能底盘操作系统可以在整个产品生命周期中持续更新与优化，不断提升车辆的性能和用户体验。

以用户为中心的正向开发模式，需要科学范式管理创新。创新是企业研发管理发展的重要驱动力，创新战略方面，组织层面需要构建技术规划、产品规划的能力和流程体系；创新实施方面，需要构建创新文化、创意收集和评审、产品思维、用户思维、设计思维 Design Thinking 等新思维模式和新技能；随着 IT 基础设施、架构理论和 AI 算法的不断成熟，研发效能快速进化为具体的工具、流程和指标系统，让软件研发成为规范的、科学的、可度量的工作。越来越多的组织建立了专门的一站式、一体化的数字化效能平台，实现数据驱动产品开发；此外，AI 技术正快速渗透到整车软件开发的各个环节，从开发、测试到部署与运维，贯穿了产品的全生命周期管理。

3.3 软件开发安全要求

智能底盘作为实现汽车行驶功能的关键部件，对其有着最全面最高等

级的安全要求，需要覆盖功能安全、预期功能安全、信息安全和数据安全。除在智能底盘域控内安全功能模块外，安全体系也包含覆盖全生命周期的开发、测试、集成、调试、运维等的安全流程、管理、工具等。

功能安全。功能安全关注于如何通过系统设计来预防和控制系统故障，以避免潜在的危害。功能安全的实现涉及软件设计、软件开发和软件测试等多个维度。在软件设计阶段，应遵循安全设计原则，明确系统需要满足的安全目标和需求。软件架构设计应遵循模块化、封装性和独立性原则，以降低模块间的耦合度，简化系统的复杂性，并提高系统的可维护性和可测试性。此外，设计时应考虑软件的可靠性和鲁棒性，确保软件能够在合理的条件下稳定运行。在软件开发过程中，应遵循严格的编码标准和规范，以减少编程错误和提高代码质量。采用安全编程实践，如输入验证、缓冲区溢出保护、安全的错误处理等，以防止安全漏洞的产生。在软件测试维度，必须进行全面的验证和验证测试，包括单元测试、集成测试和系统测试，以确保软件在各种场景下的可靠性和安全性，从而有效保障功能安全。此外，需要进行动态分析，如运行时监测和故障注入测试，以评估软件在运行时的行为和对故障的反应能力。

预期功能安全。预期功能安全则处理由于系统设计不足或未能按预期执行其功能而导致的风险。为应对智能底盘功能安全与预期功能安全挑战，应建成国家标准法规库，规范需求、设计（安全风险评估、安全分析）、开发、测试各阶段的技术流程，完善面向场景的测试方法和测试用例，注重场景要素的合理解耦和优先度划分。同时要建立完善可靠的开发工具链，避免引入系统性失效问题。

信息和数据安全。随着云计算、大数据、大模型等技术与汽车产业深度融合，多网络接入、多实体互联、多功能集成成为发展趋势。为应对软硬件漏洞和隐蔽后门的未知网络攻击风险等信息和数据安全挑战，在安全管理和工具方面，需要优化完善智能底盘操作系统和应用的信息安全应急响应机制及保障与监管技术；建立信息安全共享分析中心，如 **CAVD**、**CVVD** 和 **CNVD** 等，也是提升行业整体信息安全水平的有效途径。

随着 **AI** 及大模型在智能底盘的应用，**AI** 的功能安全 and 信息安全成为当前安全研究的重点；此外，各种安全的保底功能共享也是产品实现的重要特色。

第4章. 未来展望和发展建议

智能底盘操作系统是智能底盘发展关键支撑技术之一，其实时安全内核和中间件较为成熟，功能软件创新性较高。我国智能底盘产业研究和发展处于初期阶段，各高校、研究机构、企业纷纷针对整体架构、重点模块如操作系统等技术路线展开探索并逐步推进产业落地。需加强顶层设计引领，建立健全标准体系，提升核心技术自主创新能力，形成开源共建的开发培育机制，构建开放协作的产业生态，提速集成交付及量产应用。

顶层设计：促进智能底盘操作系统参考架构形成行业共识

明确智能底盘发展的战略和产业意义，梳理智能底盘操作系统的应用前景，明确并优化实现产业高效协同与深度融合的具体实施路径，分析研究智能底盘的需求和技术趋势，科学分析智能底盘操作系统的核心作用、参考架构、重点创新、技术难点等，广泛征求特别是主机厂和 Tier1 的意见，形成行业共识和产业顶层设计。重点就智能底盘操作系统参考架构形成广泛行业共识，并研判其标准化、模块化、可拓展性等未来发展方向，并支持迭代。

标准法规：建立健全智能底盘操作系统标准体系

结合分层解耦、跨域共用架构特点，联合行业共建完善的智能底盘操作系统标准体系，促进产业协作分工，实现资源的优化配置和高效利用；聚焦智能底盘核心领域，识别关键技术，通过统一接口标准及开发测试流程，增加共性基础技术及产品兼容性，实现产业链的协同发展，加速核心技术产业化进程；促进标准与技术创新融合，鼓励技术创新与标准制定相结合，将新技术、新应用及时纳入标准体系，推动标准不断更新和完善，为产业发展提

供有力支撑。

技术攻关：聚焦核心技术突破，提升自主创新能力

面向产品需求进行系统软件、功能软件和芯片等关键技术攻关，充分应用不断发展的人工智能等新技术，提高芯片算力、降低功耗，提升智能底盘可靠性和安全性，加快产品落地应用。

首先，需持续投入研发资源，优化系统软件架构，提升系统稳定性与响应速度，为智能底盘提供坚实支撑。同时，针对功能软件，应不断创新功能模块支撑持续迭代的算法与逻辑，确保各项功能高效、精准执行，满足多样化产品需求；在芯片领域，应充分利用人工智能等前沿技术，加速芯片设计与制造工艺的升级，提升芯片算力与能效比，应注重芯片的安全性与可靠性设计，确保在复杂环境下仍能稳定运行；倡导建立产学研用深度融合的创新体系，促进技术成果快速转化。同时，加强与国际先进技术的交流与合作，不断提升我国智能底盘操作系统核心技术的自主创新能力与国际竞争力。

开源共建：建立自主、开源的智能底盘操作系统共建机制

推动建立智能底盘操作系统自主开源项目，创建操作系统开源社区，推动高校、企业、研究机构参与建设，建立开发贡献与激励机制，培育孵化开源操作系统应用集成案例；制定统一的技术标准与接口规范，提供详细开发文档、使用指南与培训资源，开放和发布可用示例项目，推动共建生态健康发展；建立安全审计管理机制，形成反馈与优化机制，保障软件开发的持续集成与自动化测试，确保操作系统版本稳定性；与上下游企业建立合作模式，推动开源项目产业化应用部署，形成开源共建的行业共识，构建创新-应用的可持续生态。

生态建设：构建更广泛，更开放的智能底盘操作系统生态

智能底盘操作系统作为产业链的关键环节，与硬件、应用开发、系统集成和服务提供等多个方面紧密相关，与通讯、AI、云计算等跨领域创新技术的融合更为整个产业链的转型升级与生态构建注入了新的活力。建议制定鼓励政策，推动整车、零部件、算法、操作系统、芯片等企业组建联合体，引导国产智能底盘操作系统的攻关及产品示范，以智能底盘应用创新领先为导向，共同建立智能底盘操作系统生态。

产业化落地：明确产业分工，加速智能底盘操作系统集成及量产应用

更多企业正在在智能底盘操作系统领域展开布局。域控技术的不断演进使主机厂能够对底盘系统进行更加集中的控制和管理，同时也带动了产业链各企业的积极探索与合作。智能底盘通过域控制器实现功能集中控制，主机厂致力于打造具有差异化竞争优势的智能底盘系统，通过自主研发应用算法等，不断提升软件自研能力，或定义软件规范与零部件供应商及软件企业合作，以软件模块的方式完成集成。传统零部件供应商凭借在传统底盘执行系统领域的技术积累，不断创新，在域控技术、融合算法和功能软件方面积极探索，通过与主机厂的紧密合作，提供高质量的底盘产品和解决方案，更好地满足市场需求。软件企业不断完善内核和中间件以适应更复杂的软硬件环境，提供丰富的软件开发工具及定制化服务，并构建全方位安全体系保障智能底盘操作系统的安全基础。芯片企业为适应智能底盘需求，不断提升研发生产技术，提供大算力、高性能的芯片产品，同时加强与软件企业合作，更好的实现硬件与软件的兼容和协同。

为加速智能底盘操作系统产业化落地进程，首先强化“示范应用”，通

过智能物流、智能公交等领域的试点项目，验证技术可行性与市场价值，为技术成熟与规模化应用奠定基础。其次，深化“产业合作”，促进整车企业与智能底盘操作系统供应商之间的紧密协作，构建长期稳定的合作机制，实现资源共享与优势互补，共同推进产业化进程。同时，积极争取政府政策支持与资金补贴，降低企业研发与应用成本，加速市场推广步伐。

附录 1：产品案例

随着智能底盘产业链逐步完善，企业围绕智能底盘软件积极探索并展开相关产品布局，从产业链各环节推动智能底盘操作系统架构及技术应用落地：

案例 1 东风集团研发总院基于域控架构的线控转向系统开发

东风集团自研开发了线控转向系统及软件产品。基于底盘域控架构，将线控转向以及后轮转向的控制软件集成于域控中，域控系统通过对信号的分析处理，识别车辆的运动状态和行驶意图，向手感模拟器和前、后转向执行器发送指令，控制前、后转向执行电机工作，执行转向目标，保证各种工况下都具有理想的车辆响应。同时，通过控制路感电机模拟，提供给驾驶员正确合理的转向路感和手感。底盘域控系统制定统一标准的接口，实现了转向控制与执行的解耦，促使前转、后转更好的协调联动；也可集成底盘横纵垂协调控制功能，量化与智驾系统的动力学边界约束，保障高速、急弯等极端条件动力学稳定性。线控转向系统及软件产品将首先搭载在猛士 917 及后续迭代车型，预计 2025 年量产。

案例 2 一汽红旗智能线控底盘域控软件平台产品

红旗智能线控底盘域控软件平台产品是面向智能辅助驾驶/高阶自动驾驶的横纵垂一体化动态性能与运动控制软件平台，通过在整车层面对全轮转向、多电机驱动、线控制动和（半）主动悬架的集中控制，实现线控底盘统一感知、统一目标的高性能高稳健自适应容错控制。红旗智能线控底盘域控软件提供对不同智能执行器配置的模块化剪裁，并支整车层面持深度个性化性能定制，并可支持广义数据驱动在线标定和智驾、座舱多域协同交互

控制。红旗智能线控底盘域控软件平台以标准化交互接口统一处理上层智驾参考轨迹需求，并调用核心动力学与运动控制系统实现精确轨迹跟踪与运动控制，以达成更舒适、安全、稳健的自动驾驶体验。红旗智能线控底盘域控软件平台产品搭载于红旗 Ehs7，计划 2024 年底上市。

案例 3：经纬恒润底盘域控制器（CDC）

经纬恒润自主研发智能底盘域控制器及操作系统。服务层集减震器阻尼控制、空气弹簧高度控制等功能为一体，简化复杂的底盘控制系统结构。同时，还可以集成后轮转向、电子稳定杆、转向柱位置控制、发动机悬置等功能。通过与智能执行器的结合，预留足够算力的底盘域控制器可以支持集成整车转向、制动、悬架等车辆横、纵、垂向相关的控制功能，完成整车的高水平底盘协调控制与车辆运动轨迹控制。操作系统包括系统软件和功能软件，其中系统软件 INTEWORK-EAS 符合 AUTOSAR 的完整模块，支持各种通信形式的中间件（中间件层）和安全的实时操作系统（内核层）。

案例 4：华为 A 级车多合一动力底盘域控软件平台产品

华为 A 级车多合一动力系统解决方案由多合一控制器和多合一部件组成。其中多合一部件中集成了电机、减速器、MCU、DCDC、OBC、压缩机等子部件，并由多合一控制器完成对这些子部件融合控制。该解决方案可支撑车企整车架构灵活组合，实现成本最优。多合一控制器搭载高算力、车规标准的多核芯片，多合一域控软件平台部署在该芯片上，支持车企软件嵌入并以独立二进制方式二次开发，为 A 级车域控软件提供低成本面向智驾 & 人驾的多合一设备抽象化、服务化接口，支持基于最新标准的全栈自研 AUTOSAR，支持扭矩控制链路闭环小于 2ms，支持 OTA 升级时间小于 20s，

支持车企对驱动、充放电、底盘、热管理等部件的高效融合控制。同时搭载华为 iTRACK 电机智能扭矩控制系统，实现微秒级路况感知及毫秒级扭矩实时调整。从便捷开发、快速交付、控制性能、能耗、驾驶体验提升等多个方面支持 A 级车域控软件开发目标快速达成，是面向 A 级车的 EE 架构最优解和发展趋势。

案例 5 采埃孚 cubiX®车辆运动控制软件

cubiX®是由采埃孚公司研发的车辆运动控制软件，通过协调前轮转向、制动、后轮转向、四驱、主动悬架、电子尾翼等多个执行器，包含面向人工驾驶和自动/辅助驾驶的车辆运动控制上层应用，和赋能上层应用开发的“功能基座”，以及整车功能安全模块。cubiX®可以布置在域控制器当中，兼容不同的架构方案；同时协同底盘各执行器，向上层提供了统一、规范的底盘控制接口，满足智驾域对底盘控制的需求。

案例 6 普华基础软件实时操作系统 ORIENTAIS OS

普华自研 ORIENTAIS OS，为电子稳定系统控制器用 MCU 芯片研发可抢占多任务的实时操作系统产品，为电子稳定系统控制器提供一个高性能、资源消耗小、可裁剪移植性强的系统环境。通过定制操作系统中的功能模块实现规模小、中断响应及任务切换快、应用隔离保护、时间保护、模式管理、同步时基等特点，并可提供堆栈监控和 MCU 负载等相关监控功能。采用汽车电子实时操作系统定时保护技术，设计利用一种微处理器中特殊的时钟硬件，对定时保护的实现策略进行改进，满足了智能底盘操作系统对于定时保护的要求。提出一种软件与硬件机制相结合的、分层实现隔离保护的框架和机制，有效利用硬件提供的保护功能，降低对硬件资源的需求，并

基于软件实现，满足细粒度的隔离保护要求，增强应用系统的安全性，满足汽车电子这一特殊应用领域规范的要求以及系统的实时性要求多级隔离保护机制框架。

案例 7：东软睿驰公司基础软件平台产品

东软睿驰应用于智能滑板底盘的 NeuSAR CP Configurator，提供覆盖 AUTOSAR R21-11 标准的完整软件模块，被部署在底盘控制器（PDC）和智能底盘控制器（SICC）上，支持全集成和全线控的设计理念，不仅帮助实现底盘的高度集成化与线控化目标，而且还加强底盘系统的灵活性和可扩展性。NeuSAR CP Configurator 支持持续集成与持续交付（CI/CD），这使得开发效率得到了显著提升，约节省 30% 开发时间。东软睿驰采用了上下车体解耦的开发模式，允许底盘与车身独立设计和制造，为制造商提供了更高的设计自由度，同时也简化了生产流程并降低了成本。

案例 8 紫光同芯 THA6 系列芯片

THA6 Gen2 系列 MCU 是紫光同芯高端汽车控制芯片，采用 Arm Cortex-R52+内核，主频达 400MHz，可提供 5K 以上 DMPIS 算力；内核带锁步功能，支持实现虚拟化、多任务的隔离；满足功能安全 ASIL-D 最高等级要求；THA6 Gen2 系列采用业界先进的 eFlash 工艺，片内集成容量高达 16MB Code Flash，并支持 FOTA 在线升级；拥有最新版本 GTM 4.1 模块，支持超高精度 PWM，内置硬件 RDC 模块，可支持软解码和硬解码两种旋变解码方式，集成 HSM 模块，达到 EVITA-Full 最高等级，兼具高功能安全和高信息安全；适配业界主流的调试器、编译器等工具链并支持 AUTOSAR，提供符合 ASPICE 标准的 MCAL 基础软件。

案例 9：杰发科技高算力域控 MCU AC7870

杰发科技 AC7870 是一款面向汽车域控的高算力高可靠性 MCU，其部署 3 组 Lockstep 的 R52 核心，工作频率可以到 350MHz 以上，集成了 12MB Pflash、512KB DFlash 以及 2MB SRAM，集成信息安全模块 HSM，有丰富的通信接口以及 I/O 外设，能够满足如车身控制、底盘控制等域控的计算、存储以及接口的应用要求。AC7870 采用先进制程的 eflash 车规工艺，符合 AECQ100 Grade 1，满足 ISO26262 ASIL B/D 的产品认证要求以及 ISO21434 规范的开发流程要求，支持 AUTOSAR，提供符合 ASPICE 标准的 MCAL 基础软件。

附录 2：缩略语表

	英文缩略词	英文全称	中文名称
1	ABS	Antilock Brake System	防抱死制动系统
2	ADC	Analog-to-Digital Converter	模拟数字转换器
3	AES	Advanced Encryption Standard	高级加密标准
4	AIOT	Artificial Intelligence & Internet of Things	人工智能物联网
5	APU	Accelerated Processing Unit	加速处理器
6	ASIL	Automotive Safety Integrity Level	汽车安全完整性等级
7	AUTOSAR	Automotive Open System Architecture	汽车开放系统架构
8	AYC	Active Yaw Control	横摆稳定控制
9	BMS	Battery Management System	电池管理系统
10	CAVD	China Automobile Vulnerability Database	车联网产品安全漏洞专业库
11	CNVD	China National Vulnerability Database	国家信息安全漏洞共享平台
12	CPU	Central Processing Unit	中央处理器
13	CTB	Cell to Body	单体蓄电池（电芯）到车身集成
14	CTC	Cell to Chassis	单体蓄电池（电芯）到底盘集成
15	CVVD	China Vehicle Vulnerability Database	车辆安全漏洞预警与分析平台
16	DDS	Data Distribution Service	数据分发服务
17	DMA	Direct Memory Access	直接存储器访问
18	ECU	Electronic Control Unit	电子控制单元
19	EDF	Earliest Deadline First	最早截止时间优先调度算法
20	EHB	Electronic Hydraulic Brake	电子液压制动
21	EMB	Electro Mechanical Brake	电子机械制动
22	EMS	Energy Management System	能量管理系统
23	ESC	Electronic Stability Control	电子车身稳定控制

	英文缩略词	英文全称	中文名称
24	FPGA	Field-Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
25	GPIO	General Purpose Input Output	通用输入输出
26	GPU	Graphics Processing Unit	图形处理单元
27	HMI	Human Machine Interface	人机接口
28	HSM	Hardware security module	硬件安全模块
29	I/O	Input/Output	输入和输出
30	ICT	Information and Communications Technology	信息与通信技术
31	IDS	Intrusion Detection System	入侵检测系统
32	IIC	Inter-Integrated Circuit	集成电路总线
33	IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
34	IPS	Intrusion Prevention System	入侵防御系统
35	MCU	Microcontroller Unit	微控制单元
36	MMU	Memory Management Unit	内存管理单元
37	MPC	Model Predictive Control	模型预测控制
38	MPU	Microprocessor Unit	微处理器单元
39	MVP	Minimum Viable Product	最小可行性产品
40	NPU	Neural Processing Unit	神经网络处理器
41	OTA	Over-the-Air	空中下载（技术）
42	PMS	Power Management System	电源管理系统
43	POSIX	Portable Operating System Interface of UNIX	可移植操作系统接口
44	PSI5	Peripheral Sensor Interface 5	外围传感器接口 5 协议
45	RL	Reinforcement Learning	强化学习
46	RMS	Rate Monotonic Scheduling	单调速率调度算法
47	RSA	Rivest-Shamir-Adleman	基于数论的非对称加密算法
48	SDV	Software Defined Vehicles	软件定义汽车
49	SENT	Single Edge Nibble Transmission	单边半字传输协议
50	SOA	Service-Oriented Architecture	面向服务的架构

	英文缩略词	英文全称	中文名称
51	SOAFEE	Scalable Open Architecture for Embedded Edge	嵌入式边缘的可扩展开放架构
52	SOC	State of Charge	充电状态
53	SOH	State of Health	健康状态
54	SOME/IP	Scalable service-Oriented Middleware over IP	运行于 IP 之上的可扩展的面向服务的中间件
55	SRAM	Static Random Access Memory	静态随机存取存储器
56	TCS	Traction Control System	牵引力控制系统
57	TDD	Test-Driven Development	测试驱动开发
58	TLS	Transport Layer Security	传输层安全性协议
59	TPU	Tensor Processing Unit	张量处理单元
60	V2X	Vehicle to X	车对外界的信息交换
61	VM	Vehicle Motion	车辆运动

附录 3：主要参与单位及专家

（排名不分先后）

单位	姓名
清华大学	张文杰
复旦大学	彭鑫、陈赟、陈碧欢、戴嘉润、沈立炜
香港理工大学	罗夏朴
南京理工大学	赵庆玲
中国汽车工程学会智能底盘分会	张俊智
电动汽车产业技术创新战略联盟	赵立金、刘国芳、刘德州
国家智能网联汽车创新中心	张文杰、刘东利、刘志坤、刘兴亮、姚会文、郭伟康、陈俊伊、刘璟、李雪
东风汽车集团有限公司研发总院	张衡、李泽彬、郭顺、孙国正、张国旺、雷鹏、汪盛
中国第一汽车股份有限公司研发总院	张晓谦、李论
重庆长安汽车股份有限公司	文洋、王宽
上汽集团创新研究开发总院	张毅峰
广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院	严汶均
北京汽车研究总院有限公司	赵洋
雷达新能源汽车（浙江）有限公司	张杰
长城汽车股份有限公司	冯晓宇、杨文谦、马路路、李鑫、杜阿雷、张宗斌
奇瑞汽车股份有限公司	高家兵、刘慧建、祁林星
合众新能源汽车股份有限公司	吕健波
博世华域转向系统有限公司	刘栋
博世汽车部件（苏州）有限公司	章京瑶、曲元宁
采埃孚汽车科技（上海）有限公司	韩喆彦、方高明
布雷博制动系统有限公司	曹丙坤
华为数字能源有限公司	任强、袁明、张永生
中汽创智科技有限公司	王佶

单位	姓名
北京经纬恒润科技股份有限公司	范成建、于雅琪、张明、莫新勇、赵彦安
国汽智控（北京）科技有限公司	尚进
上海保隆汽车科技股份有限公司	黄智铭
比博斯特（上海）汽车电子有限公司	郑晟
惠州市德赛西威汽车电子股份有限公司	李腾飞
恒创智行（浙江）电控制动系统有限公司	胡立闯
浙江万安科技股份有限公司	傅直全
吉孚汽车技术（苏州）有限公司	张京永
易特驰汽车技术（上海）有限公司	汤易
普华基础软件股份有限公司	孙杰、梁浩
东软睿驰汽车技术（上海）有限公司	王继鹏、张东旭
国科础石（重庆）软件有限公司	许贇珍、黄俊
中瓴智行（成都）科技有限公司	钟卫东
英特尔中国有限公司	许涛
紫光同芯微电子有限公司	黄钧、杨斌、王忠民、高泽乾、宋瑞，周玉杰，张雪蛟、毋超
合肥杰发科技有限公司	徐克
苏州爱索企业管理咨询有限公司	柴文蔚