

第 5 章

CHAPTER 5

计算机控制中的新兴技术及应用

在现代工业生产中,工业机器人和智能系统的应用已经成为推动生产力发展的关键力量。工业机器人作为自动化技术的重要组成部分,通过其高效、精准和可靠的操作,极大地提升了制造业的生产效率和产品质量。

工业人工智能是指在工业环境中应用人工智能技术以提高生产效率、优化制造过程、减少成本、提升产品质量、增强设备的自主性和智能化水平。这通常涉及机器学习、深度学习、自然语言处理、计算机视觉和专家系统等 AI 技术的使用,以实现工业设备、流程和数据的智能监控、控制和分析。

智能制造是制造业与信息技术的深度融合,旨在通过先进的信息和通信技术全面提升制造资源的利用效率、生产过程的智能化水平、产品服务的附加值以及生态环境的可持续性。

自动驾驶汽车技术是当前汽车行业的一个重要发展方向,它涉及多个技术领域的综合应用,包括计算机视觉、传感器技术、机器学习、大数据分析和控制系统等。

云计算是一种提供按需计算资源和服务的技术,它允许用户通过互联网访问服务器、存储、数据库和一系列应用服务。

边缘计算在计算机控制系统中的应用是一种新兴的技术趋势,它结合了传统的集中式计算和分布式计算的优点,以满足现代工业自动化和智能制造的需求。边缘计算是将数据处理和分析功能推向数据产生的源头,即网络的“边缘”。这种方法对于需要快速、实时决策的控制系统尤为重要。

本章全面介绍工业自动化和智能化技术的关键领域,包括工业机器人、人工智能、智能制造、自动驾驶汽车、云计算和边缘计算。这些技术是现代工业发展的基石,对提高生产效率、降低成本、增强产品质量和促进创新具有重要意义。

5.1 工业机器人概述

工业机器人是一类专为工业自动化应用设计的可编程机械设备。它们能够执行多种重复性任务,通常在生产线上取代或辅助人工操作。工业机器人的设计旨在提高生产效率、精确度和连续性,同时降低人力成本和减少人为错误。

工业机器人的一些关键特征和组成部分如下。

(1) 控制系统: 机器人的“大脑”,通常由一个或多个微处理器组成,负责处理输入(来



第 14 集
微课视频

自传感器的数据)和输出(驱动执行器的指令)。

(2) 执行器: 机器人的“肌肉”, 通常是电动机或气动/液压系统, 用于驱动机器人的关节和工具。

(3) 传感器: 机器人的“感官”, 包括触觉、力量、视觉、声音和距离传感器等, 用于检测环境变化和工作状态。

(4) 机械结构: 机器人的“身体”, 包括机械臂、腕部、手爪(夹具或工具)等, 用于执行具体的操作。

(5) 界面和软件: 用户与机器人交互的界面, 以及控制机器人行为的软件。软件可以进行任务编程、路径规划和运动控制。

随着技术的发展, 工业机器人正在变得更加智能和自适应, 能够在更复杂的环境中执行更多样化的任务。通过集成人工智能、机器学习和先进传感器技术, 工业机器人的应用范围和能力将继续扩展。

5.1.1 工业机器人的定义

“机器人”(Robot)一词最早出现于1920年捷克作家卡雷尔·查培克创作的剧本《罗莎姆万能机器人公司》中。

20世纪40年代阿西莫夫(Asimov)为保护人类, 在《我, 机器人》中对机器人做出了规定, 发表了著名的“机器人三原则”。

第一条原则: 机器人不得危害人类, 不可因为疏忽危险的存在而使人类受到伤害。

第二条原则: 机器人必须服从人类的命令, 但当命令违反第一条原则时, 则不受此限制。

第三条原则: 在不违反第一条和第二条原则的情况下, 机器人必须保护自己。

阿西莫夫也因此被称为“机器人学之父”。

3条原则的意义在于为人类规划了现代机器人发展应取的姿态。

目前, 从终极人工智能的角度讨论未来机器人是否会伤害到人类也成为科技进步很可能引发人类不希望出现的问题的焦点。

“机器人”的概念是随着科技发展而变迁的, 受到能量供给、自动控制技术的限制。

在18—19世纪被机械学者发明的各类“机器人”可以说是通过弹簧等储能元件或蒸汽驱动、机械机构控制来实现的, 类似于手动玩具, 如机器鸭子、机器人形玩偶、行走机器之类的自动机械“机器人雏形”。

飞速发展的工业自动化对高性能的工业机器人的需求正变得日益强烈, 工业机器人已成为自动化的核心装备, 与一般的工业数控设备有明显的区别, 主要体现在与工作环境的交互方面。

工业机器人一般指在工厂车间环境中为配合自动化生产的需要, 代替人完成材料的搬运、加工、装配等操作的一种机器人。

1) 日本工业机器人协会对工业机器人的定义

工业机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行装置的、能够完成各种移动代替人类劳动的通用机器”。它又分以下两种情况来定义。

(1) 工业机器人是“一种能够执行与人的上肢类似动作的多功能机器”。

(2) 智能机器人是“一种具有感觉和识别能力,并能够控制自身行为的机器”。

2) 美国机器人协会对工业机器人的定义

工业机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过程序动作执行各种任务,并具有编程能力的多功能操作机”。

3) 国际标准化组织对工业机器人的定义

工业机器人是“一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机,这种操作机具有几个轴,能够借助可编程操作处理各种材料、零件、工具或专用装置,以执行各种任务”。

5.1.2 工业机器人的组成

工业机器人由三大部分,6个子系统组成。这三大部分是机械部分、传感部分、控制部分;6个子系统是驱动系统、机械结构系统、感觉系统、机器人环境交互系统、人机交互系统和控制系统。其中,传感部分包括感觉系统和机器人环境交互系统;控制部分包括人机交互系统和控制系统;机械部分则包括驱动系统和机械结构系统。6个子系统的作用分述如下。

1. 驱动系统

若要使机器人运行起来,必须给各个关节即每个运动自由度安置传动装置,这就是驱动系统。驱动系统可以是液压、气压或电动的,也可以是把它们结合起来应用的综合系统。可以直接驱动,也可以通过同步带、链条、轮系和谐波齿轮等机械传动机构进行间接驱动。

2. 机械结构系统

工业机器人的机械结构系统由机身、手臂、手腕和末端操作器四大件组成。每个大件都有若干自由度,构成一个多自由度的机械系统。若基座具备行走机构,便构成行走机器人;若基座不具备行走及腰转机构,则构成单机器人臂(Single Robot Arm)。手臂一般由上臂、下臂和手腕组成。末端操作器是直接装在水腕上的一个重要部件,它可以是二手指或多手指的手爪,也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

3. 感受系统

感受系统由内部传感器和外部传感器组成,获取内部和外部环境状态中有意义的信息。现在也可以应用智能传感器提高机器人的机动性、适应性和智能化水平。人类的感受系统对感知外部世界信息是极其敏感的。但是,对于一些特殊的信息,机器人传感器比人类的感受系统更有效、更准确。

4. 机器人环境交互系统

机器人环境交互系统是实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。工业机器人与外部设备集成为一个功能单元,如加工制造单元、焊接单元和装配单元等。当然,也可以是多台机器人、多台机床或设备和多个零件存储装置等集成一个执行复杂任务的功能单元。

5. 人机交互系统

人机交互系统是操作人员与机器人进行交互的装置,可分为两大类:指令给定装置,如示教盒、触摸屏等;信息显示装置,如显示器等。

6. 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及传感器反馈的信号支配机器人的执行机构完成规定的运动和功能。

5.1.3 工业机器人的主要特征与表示方法

工业机器人是一种多功能、可重复编程的自动化机械装置,它可以通过三维空间的移动和定位执行多种工业任务。工业机器人的主要特征和表示方法如下。

1. 工业机器人的主要特征

工业机器人的主要特征通常包括以下几个方面。

(1) 自动化和可编程性:工业机器人可以通过编程执行一系列的任务和操作,不需要人工直接操作。

(2) 灵活性和适应性:通过更改程序,工业机器人可以轻松适应不同的任务需求,从而能够在多种生产环境中使用。

(3) 精确度和重复性:机器人能够以高精度重复执行相同的任务,这对于保证产品质量和生产效率至关重要。

(4) 耐用性和可靠性:工业机器人设计用于长时间连续工作,即使在恶劣的工业环境下也能保持性能和稳定性。

(5) 载荷能力:机器人可以携带或操作的最大重量。这个参数对于确定机器人是否适合特定的工作任务非常重要。

(6) 工作范围:机器人能够到达的最大距离,通常由其机械臂的设计和长度决定。

(7) 速度和加速度:机器人移动其部件的速度和加速度。这些参数影响生产效率和周期时间。

(8) 自主性:某些工业机器人具备一定程度的自主决策能力,能够根据传感器输入自我调整行为。

(9) 互操作性:现代工业机器人通常能够与其他机器人和自动化系统进行通信和协作。

2. 工业机器人的表示方法

工业机器人的表示方法通常涉及以下几个技术参数。

(1) 自由度(Degrees of Freedom, DoF):机器人可以独立移动的轴数,决定了机器人的灵活性。

(2) 负载(Payload):机器人可以安全携带的最大重量。

(3) 工作包络(Work Envelope):机器人能够到达的三维空间范围。

(4) 重复定位精度(Repeatability):机器人返回到同一位置时的精确度。

(5) 速度(Speed):机器人移动其部件或工具的最大速度。

(6) 加速度(Acceleration):机器人部件或工具从静止到达最大速度所需的时间。

(7) 轴(Axes):机器人的运动轴,可以是旋转轴或直线轴。

这些特征和表示方法有助于用户理解机器人的性能和适用性,以及如何选择合适的机器人满足特定的生产需求。

5.2 工业机器人种类与前沿技术

工业机器人是自动执行工作的多用途机械手或机械装置。它们能够执行各种工业任务,包括装配、焊接、喷漆、搬运、包装、检查和测试等。

工业机器人的前沿技术正在不断发展,以提高自动化的灵活性、智能化水平和协同能力。

5.2.1 工业机器人种类

工业机器人可以按照不同的标准进行分类,包括结构、功能、应用等方面。以下是一些常见的工业机器人类型。

1. 按照结构分类

工业机器人按照结构分类如下。

(1) 关节臂机器人(Articulated Robots): 这种机器人具有多个旋转关节,类似于人类的手臂,非常灵活,适用于焊接、装配、喷漆等任务。

(2) 笛卡儿机器人/直角坐标机器人(Cartesian Robots): 拥有3个直线运动轴,通常用于精密的位置定位任务,如机床装载、3D打印和装配作业。

(3) SCARA(Selective Compliance Articulated Robot Arm)机器人: 具有两个平行的旋转轴和一个垂直移动轴,专为提供高速、高精度的水平运动而设计,常用于装配线。

(4) 圆筒机器人(Cylindrical Robots): 具有一个旋转的基座和一个沿垂直轴移动的臂,适用于简单的装配、搬运和加工任务。

(5) 并联机器人/三角洲机器人(Parallel/Delta Robots): 由多个臂连接到一个共同的基座,通常用于高速拾取和放置任务。

(6) 极坐标机器人(Polar Robots): 拥有旋转臂、伸缩臂和升降机构,适用于搬运、装配和焊接等任务。

2. 按照功能分类

工业机器人按照功能分类如下。

(1) 焊接机器人: 专门用于执行焊接作业,包括电弧焊、点焊等。

(2) 喷漆机器人: 用于自动化的喷漆和涂层应用。

(3) 装配机器人: 用于自动化装配线,执行精密的组装任务。

(4) 搬运机器人: 用于搬运、装卸和移动重物。

(5) 检测和测试机器人: 用于产品检测和质量控制流程。

(6) 打磨和去毛刺机器人: 用于金属加工中的打磨、抛光和去毛刺任务。

3. 按照应用领域分类

工业机器人按照应用领域分类如下。

(1) 工业制造机器人: 用于汽车、航空、电子等行业的制造过程。

(2) 医疗和手术机器人: 用于执行精密的医疗操作,如手术辅助。

(3) 实验室和研究机器人: 用于自动化的实验室测试和科学研究。

(4) 仓储和物流机器人: 用于物流中心的搬运、分拣和装卸任务。

(5) 服务和维护机器人：用于设备维护、清洁和服务等非制造任务。

随着技术的发展,这些工业机器人的种类和功能正在不断扩展,机器人系统也越来越集成化,能够执行更加复杂和多样化的任务。

工业机器人可以在没有人工干预的情况下自主导航,并在仓库和工厂环境中执行任务。

随着技术的不断进步,工业机器人正变得更加智能、灵活和功能丰富,它们正在帮助企业提高生产效率、降低成本并提升产品质量。同时,随着机器人技术的普及和成本的降低,中小型企业也开始越来越多地采用机器人技术。

5.2.2 工业机器人的前沿技术

自 20 世纪 60 年代开始的 50 年间,随着对产品加工精度要求的提高,关键工艺生产环节逐步由工业机器人代替工人操作,再加上各国对工人工作环境的严格要求,高危、有毒等恶劣条件的工作逐渐由机器人进行替代作业,从而增大了对工业机器人的市场需求。

在工业发达国家中,工业机器人已经广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、物流业和制造业等领域。

工业机器人技术已日趋成熟,已经成为一种标准设备被工业界广泛应用,相继形成了一批具有影响力的、著名的工业机器人公司,如瑞典的 ABB Robotics,日本的 FANUC 与 YASKAWA,德国的 KUKA Roboter,美国的 Adept Technology、American Robot 和 Emerson Industrial Automation,这些公司已经成为其所在地区的支柱性产业。

工业机器人的前沿技术正在不断推动自动化和智能制造的发展。以下是一些关键的前沿技术。

1. 人工智能与机器学习

通过集成人工智能,工业机器人能够进行自我学习和优化,提高其自适应和决策能力。机器学习特别用于模式识别、预测维护和生产过程优化。

人工智能(AI)和机器学习(Machine Learning, ML)是计算机科学中两个紧密相关但有所不同领域。下面简要解释它们之间的区别。

人工智能(AI)是指使计算机系统能够模拟人类智能的技术,包括理解语言、识别图像、解决问题和学习等。人工智能的目标是创造出能够执行复杂任务的智能系统,这些任务通常需要人类智能来完成。人工智能可以分为两个子领域:弱人工智能和强人工智能。弱人工智能是专门为解决特定问题而设计的系统,如语音识别或网上搜索;而强人工智能则是具有自我意识和情感的智能,能够理解和学习任何智力任务,这一领域目前还是理论性的。

机器学习(ML)是人工智能的一个子集,它专注于开发算法和技术,使计算机系统能够从数据中学习并作出预测或决策,而无须进行明确的编程。ML 通过分析大量数据识别模式和规律,并使用这些发现改进性能。机器学习可以分为几种类型,包括监督学习、非监督学习、半监督学习和强化学习。

机器学习是实现人工智能的一种手段,它提供了一种方法,让 AI 系统通过数据和算法改进其性能,而不是依靠硬编码的规则。随着技术的发展,人工智能和机器学习正变得越来越重要,并在各种行业中发挥着越来越多的作用,从自动驾驶汽车到医疗诊断,再到个性化推荐系统等。

2. 协作机器人

协作机器人(Cobots)是一类特别设计用于与人类工作者在共享工作空间内物理上协作的机器人。这些机器人通常与传统的工业机器人不同,后者往往被设计为在安全栅栏或隔离区域内独立工作,以避免与人类工作者发生危险的互动。

Cobots 的特点如下。

(1) 安全性。Cobots 通常配备有高级传感器、软件和机械设计,以确保与人类互动时的安全。例如,它们可能具有力量限制,以防止在发生碰撞时造成伤害。

(2) 易用性。Cobots 设计成易于编程和操作,甚至非专业人员也能快速学会如何使用它们。这使得它们非常适合小批量生产和快速变化的生产环境。

(3) 灵活性。Cobots 相对轻便,可以轻松地重新定位和重新配置,以适应不同的任务和工作环境。

(4) 协作。Cobots 的主要功能是与人类工作者协作,补充人类的能力,而不是替代人类。它们可以执行烦琐或危险的任务,使人类工作者能够专注于更需要创造性的工作和解决问题。

Cobots 在许多行业中的应用正在增加,包括制造业、物流、医疗保健和服务业。它们可以执行各种任务,如装配、打磨、涂漆、搬运、包装和质量检查等。随着技术的进步,预计 Cobots 将继续改进,并在未来的工作场所中扮演更加重要的角色。

3. 先进感知与视觉系统

工业机器人的先进感知与视觉系统是机器人技术中至关重要的组成部分,它们使机器人能够更加精确和有效地执行任务。这些系统的关键特点和应用如下。

(1) 视觉系统。工业机器人通常配备有一种或多种相机,这些相机可以是二维或三维的,用于捕捉环境和对象的图像。视觉系统配合适当的软件可以进行对象识别、定位、检测和质量控制等任务。三维视觉系统能够提供关于对象形状和位置的深度信息,这对于复杂的操纵和装配任务尤其重要。

(2) 传感器。除了视觉系统外,工业机器人还可能集成各种传感器,如触觉传感器、力矩传感器和超声波传感器,以增强其感知能力。这些传感器可以帮助机器人感知其周围环境的物理属性,如物体的重量、表面质地和硬度。

(3) 数据处理和分析。感知和视觉系统收集的数据需要通过复杂的算法进行处理和分析,以便机器人能够理解其周围环境并作出适当的反应。这通常涉及机器学习和人工智能技术,以提高系统的准确性和适应性。

(4) 实时反馈和调整。在执行任务时,机器人可以利用其感知系统提供的实时反馈调整其动作,以确保任务的精确性和成功率。例如,在精密装配中,机器人可能需要根据视觉系统提供的反馈微调其动作,以确保零件正确对齐。

(5) 人机协作。在人机协作环境中,机器人的感知和视觉系统可以帮助确保人类工作人员的安全。例如,如果系统检测到人类进入了机器人的工作区域,它可以自动减速或停止,以防止伤害。

随着技术的不断进步,工业机器人的感知和视觉系统变得越来越先进,能够处理更加复杂的任务,并在更加动态和不可预测的环境中运行。这些进步正推动工业自动化向更高水平的灵活性和智能化发展。

4. 自然语言处理

在工业机器人领域,自然语言处理(NLP)是一种允许机器人理解和响应人类语言的技术。NLP 结合了计算机科学、人工智能和语言学的元素,以创建能够解释、分析和生成自然语言文本或语音的系统。虽然 NLP 在消费者产品(如智能助手和聊天机器人)中的应用更为广泛,但它也开始在工业机器人领域发挥作用。NLP 在工业机器人中的应用如下。

(1) 人机交互。通过 NLP,工人可以使用自然语言命令指导或与机器人沟通,这简化了编程和操作过程。例如,工人可以口头指示机器人执行特定任务,而无须通过复杂的编程接口。

(2) 语音控制和指令。工业机器人可以被训练来理解语音指令,从而允许操作者在双手被占用或远离控制面板时控制机器人。

(3) 语言理解。NLP 使机器人能够理解由人类工作者提供的复杂指令和信息,这些信息可能包含在手册、规程或安全指南中。

(4) 自然语言生成。机器人可以使用 NLP 生成报告、提醒或解释其行为和决策的原因,从而提高透明度和可理解性。

(5) 故障诊断和支持。工业机器人可以利用 NLP 理解和响应关于设备故障或操作问题的查询,为工人提供故障排除支持或维护建议。

(6) 语言和方言适应性。NLP 系统可以被训练用于理解不同的语言和方言,这对于跨国公司及其多语种工作人员尤其重要。

(7) 信息检索。机器人可以使用 NLP 技术从大量文本数据中检索特定信息,如查找产品规格或操作指南。

虽然 NLP 在工业机器人中的应用还处于相对早期阶段,但随着技术的不断进步和工业需求的增长,预计其在未来将成为提高工业自动化互动性和灵活性的关键技术之一。

5. 物联网集成

机器人与物联网(IoT)的集成是工业 4.0 或智能制造概念的核心组成部分。物联网是指相互连接的设备和系统网络,它们能够收集、交换和分析数据,以实现更高效、自动化和智能化的运营。将机器人与 IoT 集成可以带来许多优势和创新应用。

(1) 数据收集与分析。工业机器人可以装备各种传感器收集关于其操作和周围环境的数据。通过 IoT,这些数据可以上传到云端或企业数据中心进行分析,以优化机器人的性能和生产流程。

(2) 远程监控与控制。IoT 允许运营商远程监视和控制机器人。无论运营商身在何处,都能实时查看机器人的状态、性能指标和警报,并在必要时进行干预。

(3) 预测性维护。通过分析从机器人和相关设备收集的数据,IoT 系统可以预测设备故障和维护需求。这有助于规划维护活动,缩短意外停机时间,并延长设备的使用寿命。

(4) 自动化和优化。IoT 使得机器人能够根据实时数据自动调整其操作参数,以适应生产线上的变化或优化能效。例如,如果检测到下游流程的延迟,机器人可以自动减速以避免产生过多的中间产品。

(5) 互操作性。在 IoT 环境中,来自不同制造商和不同类型的设备(包括机器人、传感器、控制系统等)可以通过标准化的通信协议进行交互。这种互操作性有助于创建更加灵活和可扩展的生产系统。

(6) 资源优化。IoT 集成可以提高资源分配的效率。例如,通过跟踪和分析能源消耗模式,可以优化机器人和整个工厂的能源使用。

(7) 安全增强。IoT 系统可以实时监控工业机器人的安全性能,并在检测到潜在的安全问题时发出警报,从而帮助预防事故。

(8) 供应链整合。IoT 允许机器人与整个供应链进行通信,自动调整生产计划以应对原材料供应或需求变化。

随着 IoT 技术和工业机器人的不断发展,它们的集成将越来越紧密,为制造业带来更高水平的自动化、效率和智能化。这种集成对于实现真正的智能制造环境至关重要。

6. 自主移动机器人

自主移动机器人(AMR)是一类具有高度自主性和灵活性的机器人,它们能够在没有人类干预的情况下在各种环境中导航和执行任务。AMR 通常配备有先进的传感器、计算机视觉系统、人工智能(AI)和机器学习算法,这些技术使它们能够理解和适应其周围环境。

AMR 的关键特点如下。

(1) 环境感知。AMR 通过激光雷达、摄像头、超声波传感器等设备感知周围环境,这些设备提供了用于导航和避障的必要数据。

(2) 智能导航。AMR 能够自主规划路径,避开障碍物,并在动态环境中实时调整其行进路线。

(3) 自我学习与适应。许多 AMR 使用机器学习算法优化其导航策略,学习从经验中获得的最佳实践,并适应环境变化。

(4) 任务执行。除了移动外,AMR 可以执行多种任务,如搬运货物、交付物品、清洁、监控和巡逻。

(5) 无线通信。AMR 通过无线网络与其他机器人、控制系统和云平台进行通信,实现协调操作和远程监控。

(6) 安全性。AMR 设计有多种安全机制,包括紧急停止按钮、碰撞检测系统和安全软件,以确保人员和设备的安全。

AMR 的应用领域如下。

(1) 物流与仓储。AMR 在仓库中用于拣选、搬运和运输货物,提高了物流效率并降低了人工成本。

(2) 制造业。在制造车间,AMR 可以搬运零件,送货到生产线或从生产线上移走成品。

(3) 医疗保健。医院和其他医疗设施使用 AMR 运送药品、样本和医疗用品。

(4) 零售。一些零售环节利用 AMR 管理库存、补货和提供顾客服务。

(5) 清洁与维护。AMR 可用于自动化清洁任务,如扫地、吸尘和消毒。

(6) 安全与监控。AMR 可以在园区、仓库或公共空间进行巡逻,提供安全监控和报告异常情况。

AMR 的发展正在不断推动工业自动化和服务机器人领域的边界,它们不仅提高了操作效率,还为各行各业带来了新的工作模式和商业机会。随着技术的进步,未来的 AMR 将更加智能、自主和多功能,能够在更复杂的环境中执行更多的任务。

7. 增强现实与虚拟现实

增强现实(AR)和虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术在工业机器人领域的应用为设计、训练、操作和维护流程带来了革命性的变化。这些技术提供了一种新的方式与机器人和生产环境互动,提高了效率和安全性,同时降低了成本。工业机器人中 AR 和 VR 技术的主要应用如下。

1) 增强现实(AR)

(1) 操作支持。AR 可以实时地将重要信息叠加在操作员的视野中,如显示机器人的状态信息、维护指示或操作提示。

(2) 维护和修理。通过 AR 眼镜或移动设备,维护人员可以看到机器人组件的三维视图和步骤指导,帮助他们更快地诊断问题并完成复杂的维护任务。

(3) 培训和教育。AR 提供了一种沉浸式的培训体验,新员工可以在没有风险的情况下学习如何操作机器人和执行任务。

(4) 生产规划和布局。在规划新的生产线或车间布局时,AR 可以帮助工程师通过虚拟叠加预览机器人和设备的放置,从而优化空间使用和流程设计。

(5) 协作增强。AR 技术可以帮助远程专家通过叠加指示和图形指导现场工作人员,实现有效的远程协作。

2) 虚拟现实(VR)

(1) 仿真和建模。VR 可以创建一个完全沉浸式的三维环境,工程师可以在其中设计、测试和优化机器人的动作和程序,而无需物理原型。

(2) 操作员训练。VR 提供了一种安全的训练环境,操作员可以在其中练习复杂的机器人操作,而不必担心造成真实世界的损害或停机。

(3) 遥控操作。对于危险或难以到达的环境,操作员可以使用 VR 远程控制机器人,提供了一种直观的操作界面和第一人称视角。

(4) 产品设计和验证。利用 VR,设计师可以在虚拟环境中与未来的产品原型进行交互,评估设计并作出调整,而无需制造实体模型。

(5) 销售和营销。VR 可以用于展示机器人的功能和性能,帮助潜在客户在购买前更好地理解产品。

将 AR 和 VR 技术与工业机器人结合使用,不仅提高了操作效率和精确性,还为人机交互提供了新的可能性。随着这些技术的成熟和普及,预计它们将在工业自动化和机器人技术中扮演越来越重要的角色。

8. 机器人操作系统

机器人操作系统(Robot Operating System,ROS)是一个灵活的框架,旨在为机器人软件开发提供一套构件块(称为 Packages 或 Nodes),它们可以在各种机器人平台上使用。尽管名为“操作系统”,但 ROS 实际上更接近于一个运行在传统操作系统之上的中间件和一组工具,它为机器人的不同部分提供了一种简单的方式来传递消息、管理软件包和编写代码。

1) ROS 的关键特性

(1) 模块化。ROS 将复杂的机器人功能分解成更小的可重用模块(节点),这些模块可以独立开发和测试。

(2) 工具丰富。ROS 提供了许多工具和库帮助开发者设计、构建、调试和运行机器人应用程序。

(3) 社区支持。ROS 拥有一个活跃的社区,社区成员贡献了大量的软件包和文档,这对于新用户和专家开发者都非常有用。

(4) 多语言支持。ROS 的客户端库支持多种编程语言,如 Python、C++ 和 Lisp,使得开发者可以选择最适合他们项目需求的语言。

(5) 分布式计算。ROS 节点可以在不同的设备和计算平台上运行,通过 ROS 通信机制(如话题、服务和动作)轻松协同工作。

(6) 硬件抽象。ROS 为机器人硬件提供了一层抽象,使得软件可以独立于硬件的具体实现运行。

(7) 仿真集成。ROS 与仿真工具(如 Gazebo)紧密集成,允许开发者在虚拟环境中测试和优化他们的机器人程序。

(8) 可视化工具。ROS 提供了 rviz 和 rqt 等可视化工具,这些工具使得开发者可以直观地监控和调试机器人的状态和行为。

2) ROS 的应用领域

ROS 被广泛应用于学术研究、工业自动化、个人项目和商业产品中。它适用于各种类型的机器人,包括移动机器人、臂形机器人、无人机和自动驾驶车辆。

5.3 工业机器人控制系统与软硬件组成

工业机器人系统通常由机构本体和控制系统两大部分组成。控制系统根据用户的指令对机构本体进行操作和控制,从而完成作业中的各种动作。控制系统是工业机器人的“大脑”,是其关键和核心部分,控制着机器人的全部动作,控制系统的好坏决定了工业机器人功能的强弱以及性能的优劣。一个好的控制系统需具备灵活、方便的操作方式、运动控制方式的多样性和安全可靠等特点。

5.3.1 工业机器人控制系统的基本原理和主要功能

工业机器人控制系统是机器人操作的大脑,负责指挥机器人的运动和行为。以下是工业机器人控制系统的基本原理和主要功能的概述。

1. 工业机器人控制系统的基本原理

工业机器人控制系统的基本原理涉及多个层面,包括硬件控制、软件编程、运动规划与执行、传感器反馈以及人机交互等。

1) 硬件控制

工业机器人控制系统通常包括一个或多个微处理器或微控制器,这些是执行指令、处理信号和控制机器人运动的核心。驱动器和放大器用于控制机器人关节的电机,提供必要的力量和速度以驱动机器人的运动。传感器(如编码器)用于监测机器人各个关节的位置和速度,确保精确控制。

2) 软件编程

机器人控制器内置有专用的操作系统和软件,用于编程和执行任务。机器人编程语言允许操作员定义机器人的动作序列,包括移动指令、逻辑控制和数据处理。

3) 运动规划与执行

运动规划涉及计算从当前位置到目标位置的最佳路径。运动控制算法,如 PID 控制、逆运动学和前馈控制,用于确保机器人沿预定路径精确移动。

4) 传感器反馈

实时反馈系统通过传感器监控机器人的状态和外部环境,如位置、速度、力量、温度等。反馈被用于调整机器人的运动,以适应动态变化或保持精确控制。

5) 人机交互

用户界面允许操作员与机器人控制系统交互,进行编程、操作和监控。

6) 闭环控制

闭环控制系统通过连续监测和调整机器人的运动保证精确性和重复性。控制器比较预期的运动和实际的运动,然后调整电机输出以纠正任何偏差。

7) 坐标变换

控制系统能够处理不同的坐标系统,包括关节坐标、笛卡儿坐标和工具坐标,以适应各种任务。

8) 安全控制

机器人系统设计有多重安全机制,如急停按钮、限位开关和软件限制,以防止设备损坏或人员伤害。

9) 网络通信

工业机器人可以通过工业通信协议与其他自动化系统组件通信,实现同步操作和数据共享。

这些原理共同构成了工业机器人控制系统的基础,使得机器人能够在各种制造和生产环境中执行复杂且精确的任务。随着技术的发展,这些原理也在不断更新和完善,以提高机器人的性能和智能化水平。

2. 工业机器人控制系统的主要功能

工业机器人控制系统主要功能如下。

(1) 运动控制:控制机器人的所有运动,包括关节的旋转和直线运动;确保机器人按照预定的路径和位置精确移动;运动插补,确保机器人在关节空间或笛卡儿空间中平滑移动。

(2) 程序执行:解释和执行存储在控制器中的机器人程序。允许用户通过编程语言编写复杂的任务序列。

(3) 输入/输出处理:管理与机器人相关的外部信号,如传感器输入和执行器输出;控制与生产线其他部分的通信和协调。

(4) 用户界面:提供一个界面供用户编程、操作和监控机器人,包括教导器、触摸屏或PC-based 软件界面。

(5) 安全管理:监控机器人的运行状态,确保操作符合安全标准,在检测到潜在危险时能够执行紧急停止。

(6) 故障诊断与管理:监测系统性能和可能的故障;提供故障代码和信息,帮助用户诊断和修复问题。

(7) 实时监控:实时跟踪机器人的位置、速度、加速度和负载等关键参数,确保机器人的性能符合预期。

(8) 外围设备控制:控制与机器人系统连接的外围设备,如夹具、传送带和其他自动化设备。

(9) 网络通信:通过工业网络协议与其他工业自动化系统交换数据,集成到更大的生产管理和数据分析系统中。

(10) 坐标系统管理:转换不同的坐标系统,如世界坐标、工具坐标和机器人本体坐标,以适应不同的任务需求。

(11) 路径规划：计算从起点到终点的最优路径，考虑避碰、最短路径或最小能耗等要求。

(12) 自适应控制：调整机器人的运动以适应传感器输入或环境变化。

这些功能结合在一起，使得工业机器人能够执行各种复杂的自动化任务，提高生产效率和质量。随着技术的发展，机器人控制系统正在变得更加智能和灵活，以适应更广泛的应用场景。

5.3.2 工业机器人控制系统的分层结构

工业机器人控制系统通常采用分层结构，以便更好地组织和管理不同的功能和任务。这种分层结构有助于简化系统设计、提高可靠性和维护性。

控制一个具有高度智能的工业机器人实际上包含了任务规划、动作规划、轨迹规划和伺服控制等多个层次。工业机器人控制分层结构如图 5-1 所示。

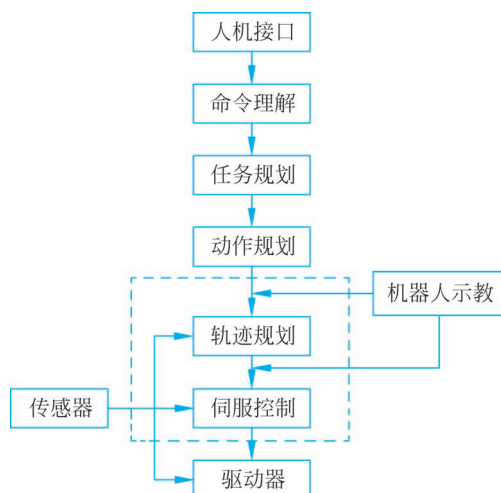


图 5-1 工业机器人控制分层结构

5.3.3 工业机器人控制系统的特性、要求与分类

工业机器人控制系统的特性、要求和分类是其设计和运行的关键要素。

1. 工业机器人控制系统的特性

在对机器人进行控制时，为了保证实施有效性，其被控对象的特性占有很重要的地位。从动力学的角度来说，工业机器人控制系统应具有以下 3 点特性。

(1) 工业机器人实质上是一个复杂的非线性系统。传动件、驱动元件、结构方面等都是引起机器人成为非线性系统的重要因素。

(2) 各关节间的相互耦合作用，表现为某个关节的运动，会引起其他关节动力效应，使得其他关节运动所产生的扰动都会影响每个关节运动。

(3) 工业机器人是一个时变系统，关节运动位置的变化会造成动力学参数随之变化。

2. 工业机器人对控制的要求

从用户的角度来看,工业机器人对控制的要求如下。

- (1) 多轴运动相互协调控制,以达到需求的工作轨迹。
- (2) 高标准的位置精度,大范围的调速区间。
- (3) 工业机器人系统的小静差率。
- (4) 各关节的速度误差系数的一致性。
- (5) 位置无超调,快速动态响应。
- (6) 采用加(减)速控制。
- (7) 从操作的角度来看,良好的人机界面操作系统可以降低对操作者的技能要求。

3. 工业机器人控制系统分类

根据分类方式的不同,机器人控制方式可以分为不同的种类。总体来说,动作控制方式和示教控制方式是机器人的主要控制方式。按照被控对象分类,控制系统可以分为位置控制、速度控制、加速度控制、力控制、力矩控制、力和位置混合控制等。

机器人控制方式分类如图 5-2 所示。

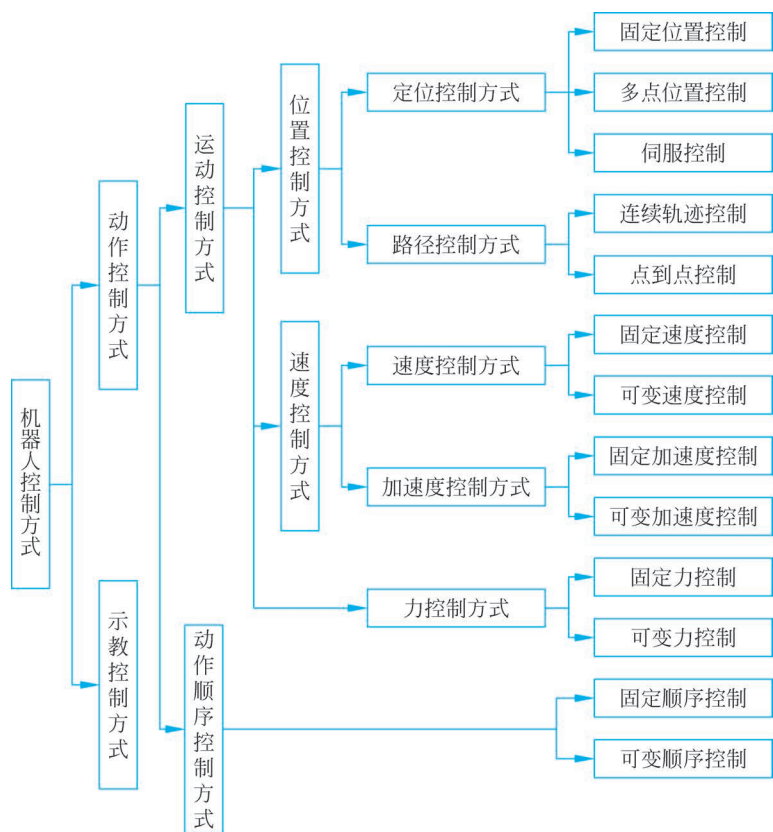


图 5-2 机器人控制方式分类

随着运动的复杂性和控制难度的增大,分层递阶运动控制系统应运而生。运动控制系统的组成如图 5-3 所示。

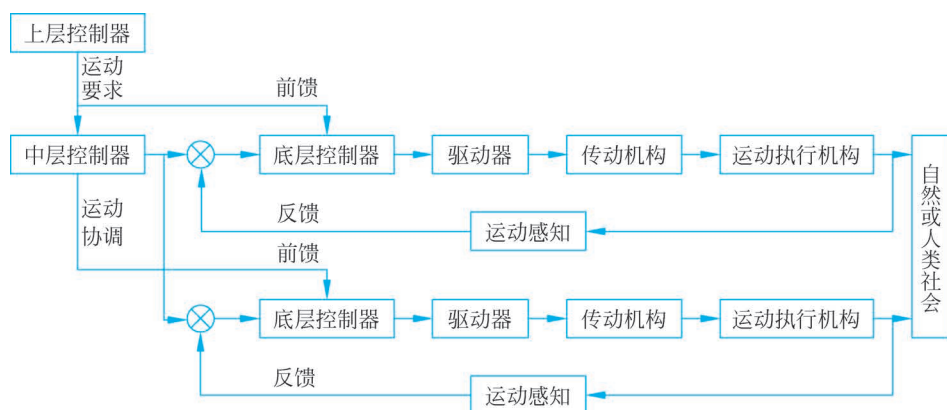


图 5-3 运动控制系统的组成

分层递阶运动控制器包括上层控制器、中层控制器和底层控制器。上层控制器需要计算能力强、智能程度高、知识粒度粗,但往往响应速度慢。底层控制器需要响应速度快,但往往智能程度低,知识粒度细。中层控制器主要完成运动的协调,计算能力和响应速度介于上层控制器和底层控制器之间。

5.4 工业人工智能

工业人工智能是指在工业环境中应用人工智能(AI)技术以提高生产效率、降低成本、改善产品质量和增强制造灵活性的实践。工业人工智能涉及一系列技术,包括机器学习、深度学习、计算机视觉、自然语言处理和预测分析等。

目前,世界各国纷纷出台相应政策,如国内的“中国制造 2025”、美国的“先进制造业伙伴计划”、德国的“工业 4.0 战略计划”、英国的“英国工业 2050 战略”以及日本的“超智能社会 5.0 战略”等,大力支持工业智能化,提高本国制造业的竞争优势。

基于工业人工智能的工业智能化是新科技的集成,主要包含人工智能、工业物联网、大数据分析、云计算和信息物理系统(CPS)等技术,它将使得工业运行更加灵活、高效和节能,因此工业人工智能具有广阔的应用前景。

工业人工智能是一门严谨的系统科学,分析技术、大数据技术、云或网络技术、专业领域知识、证据理论是工业人工智能的 5 个关键要素。

智能制造作为工业人工智能的主要应用场景,人工智能的应用贯穿于产品设计、制造、服务等各个环节,表现为人工智能技术与先进制造技术的深度融合,不断提升企业的产品质量、效益、服务水平,减少资源能耗。

工业人工智能的整体研究框架如图 5-4 所示。

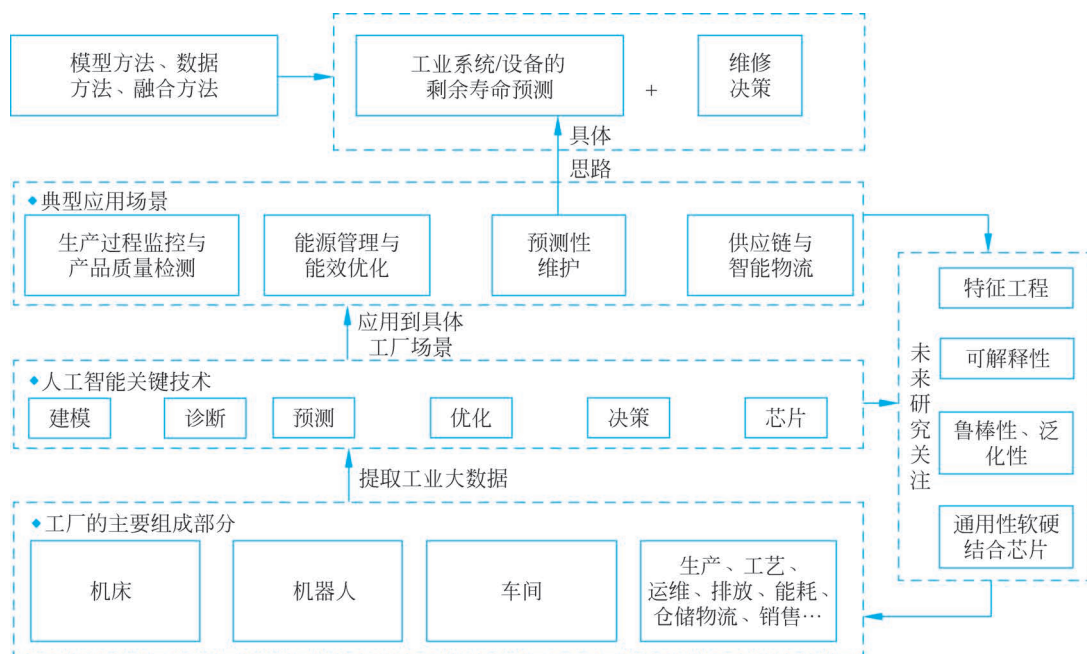


图 5-4 工业人工智能的整体研究框架

5.5 智能制造

智能制造(Smart Manufacturing)是指利用先进的信息和制造技术,实现生产过程的高度优化和自动化。它侧重于通过数据和智能分析提高生产效率、质量和灵活性。

5.5.1 智能制造及其技术体系

智能制造的技术体系是一个相互关联的框架,它结合了多种技术和概念,以支持制造业的自动化、数字化和智能化转型。

1. 智能制造的概念

“智能制造”一词的定义有多种,并且一直在变化。

(1) 由日、美、欧共同发起实施的“智能制造国际合作研究计划”中定义“智能制造系统是一种在整个制造过程中贯穿智能活动,并将这种智能活动与智能机器有机融合,将整个制造过程从订货、产品设计、生产到市场销售等各个环节以柔性方式集成起来的能发挥最大生产力的先进生产系统”。

(2) 由美国智能制造领导联盟发表的《21 世纪智能制造》报告定义“智能制造是先进智能系统强化应用、新产品制造快速、产品需求动态响应,以及工业生产和供应链网络实时优化的制造。智能制造的核心技术是网络化传感器、数据互操作性、多尺度动态建模与仿真、智能自动化,以及可扩展的多层次的网络安全”。

(3) 在中国《2015 年智能制造试点示范专项行动实施方案》中,定义“智能制造是基于新一代信息技术,贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动各个环节,具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式的总称。具有以智能工

厂为载体、以关键制造环节智能化为核心、以端到端数据流为基础、以网络互联为支撑等特征,可有效缩短产品研制周期、降低运营成本、提高生产效率提升产品质量、降低资源能源消耗”。

从上述定义可以看出,随着各种制造新模式的产生和新一代信息技术的快速发展,智能制造的内涵在不断变化,智能制造的范围也在扩大,横向上从传统制造环节延伸到产品全生命周期,纵向上从制造装备延伸到制造车间、制造企业甚至企业的生态系统。

2. 智能制造的目标

智能制造的目标包括改善用户体验、提高设备运行可靠性、提高产品生产效率、提升产品质量、缩短产品生产周期和拓展产品价值链空间等,满足客户个性化定制需求,保证高效率的同时,实现可持续制造。

3. 智能制造的技术体系

智能制造技术体系框架如图 5-5 所示,智能制造系统包括智能产品、智能制造过程和智能制造模式三部分内容,而新一代信息技术等基础关键技术为智能制造系统的建设提供了支撑。

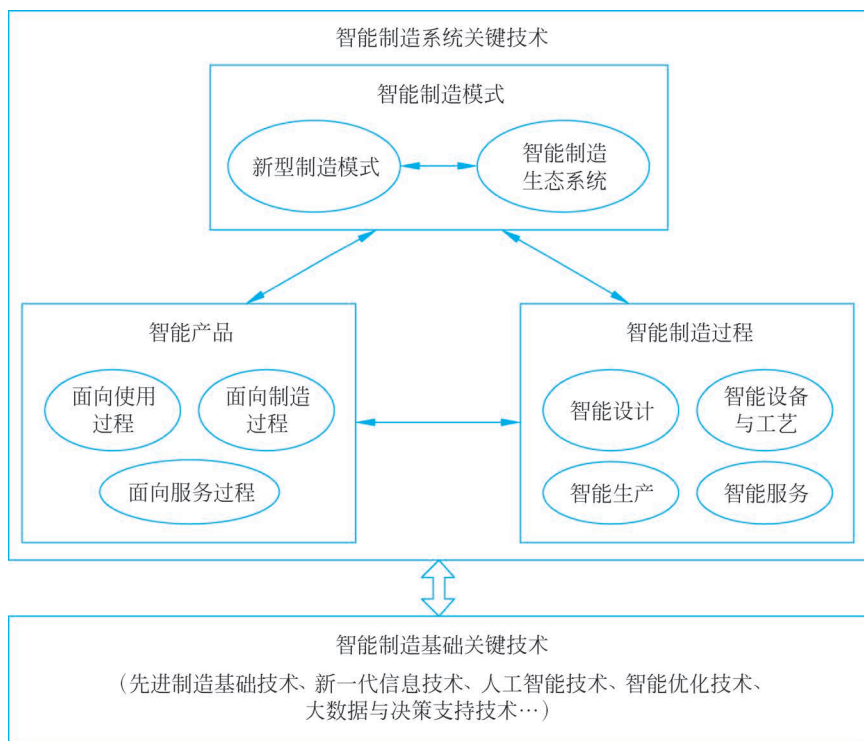


图 5-5 智能制造技术体系框架

1) 智能产品

智能产品是指深度嵌入信息技术,在制造使用和服务过程中,能够体现出自感知、自诊断、自适应、自决策等智能特征的产品。

产品智能化是产品创新的重要手段,智能产品通常具有以下特点。

(1) 能够实现对自身状态、环境的自感知,具有故障诊断功能。

(2) 具有网络通信功能,提供标准和开放的数据接口,能够实现与制造商、服务商、用户之间的状态和位置等数据的传输。

(3) 具有自适应能力,能够根据感知的信息调整自身的运行模式使其处于最优状态。

(4) 能够提升运行数据或用户使用习惯数据,对制造商、服务商、用户进行数据分析与挖掘,实现创新性应用等。

2) 智能制造过程

作为制造过程创新的重要手段,智能制造过程包括设计、工艺、生产和服务过程的智能化。

3) 智能制造模式

智能制造技术发展的同时,也产生了许多新型制造模式,如家用电器、汽车等行业的客户个性化定制模式,电力航空装备行业的异地协同开发和云制造模式,食品、药材、建材、钢铁、服务等行业的电子商务模式,以及众包设计(众包指的是一个公司或机构把过去由员工执行的工作任务,以自由自愿的形式外包给非特定的大众志愿者的做法)、协同制造、城市生产模式等。智能制造模式以互联网、大数据、3D 打印等新技术为实现前提,极大地拓展了企业的价值空间。

4) 智能制造与人工智能

物联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术是实现智能制造的技术基础。

人工智能在工业领域的应用主要包括以下几方面。

(1) 基于互联网群体智能模式的定制创新设计。

(2) 合作研发群体智慧空间应用。

(3) 智能工厂。

(4) 自主智能制造单位范式。

(5) 智能供应链服务应用。

(6) 预测性智能运维。

5.5.2 智能制造技术

智能制造技术针对工厂内部生产制造过程的智能化,从关键制造环节和工厂两个层面实现设备、系统和数据的互联互通,以及制造流程与业务的数字化管控。

智能制造技术将云计算、物联网、大数据及人工智能等新一代信息技术与产品全生命周期活动的各个环节(设计、生产、检验、管理和服务等)相融合,通过关键生产加工环节智能化、数据传输集成化、泛在网络互联化,实现自主感知制造信息、智能化决策优化生产过程、精准智能执行控制指令等,提升产品生产过程自动化、智能化水平,提高制造效率,降低能耗、人力等制造成本,是个性化定制化生产的内在需求,对于推动制造业转型升级具有重要意义。

智能制造应用技术包括基于 CPS 的工业现场制造执行技术、智能工厂技术、赛博制造技术和智能服务技术等。

1. 基于 CPS 的工业现场制造执行技术

基于 CPS 的工业现场制造执行技术涉及人机器设备、加工对象、环境之间的互联、感知,以及生产加工的进度、现场质量检验、设备状态及利用率等现场信息的实时传递、反馈以

及分析处理,实现工业现场人、机、物的智能协同。工业现场人、机、物交互程度的高低,是智能制造技术水平的重要体现之一。

基于 CPS 的工业现场制造执行主要涉及以下关键技术。

- (1) 多协议、多类型融合的工业网络技术。
- (2) 知识识别控制一体化集成技术。
- (3) 工业关键设备互联技术。

2. 智能工厂技术

智能工厂涵盖企业经营业务各个环节,包含产品设计、工艺设计、生产加工、采购、销售和供应链等产业链上下游的相关活动。智能工厂生产制造工业现场层、感知执行层和应用层等多个不同层级的硬件设备和系统,在应用中,基于传感器和工业互联网感知和连接工业现场设备、流程、管理系统和人员,在互联互通的基础上,基于人工智能技术自主决策和执行生产过程的相关指令,形成自动化、柔性化和智能化的生产形态。

建设智能工厂主要涉及以下关键技术。

- (1) 智能化的装备与产线技术。
- (2) 智能化的仓储与物流技术。
- (3) 智能化的生产计划排程与过程管控技术。
- (4) 虚拟工厂与自主决策技术。

3. 赛博制造技术

赛博制造是在计算机虚拟空间建立真实物理制造过程的投影,通过建立设计、仿真分析、试验、生产和维护等不同阶段的数字化设计模型、仿真模型、试验模型、生产模型、维护模型和人体模型以及工厂模型,充分利用大数据、仿真等信息化手段,对物理产品的制造过程进行模拟、仿真、分析,不断验证、改进、优化,并最终反馈到物理产品研制过程贯彻执行。

赛博制造涉及的关键技术主要如下。

- (1) 基于 AR/VR 的赛博制造虚拟环境与人机交互技术。
- (2) 赛博制造建模技术。
- (3) 赛博、物理空间的集成与交互式运行技术。

4. 智能服务技术

智能服务通过工业互联网平台接入工业现场产品、需求、供应和人力资源等信息,采集采购、库存、销售、运输及回收等供应链环节的业务数据和制造资源的技术参数信息、工况信息等,分析用户需求、设备/产品的运行状态、性能参数及操作行为,挖掘与制造过程人、机、物相关的复杂隐性关联信息,提供精准、高效的服务,如供应链分析、优化以及基于大数据的故障预测与诊断等。

5.5.3 中国制造 2025

“中国制造 2025”是中国政府在 2015 年提出的国家战略计划,旨在全面提升中国制造业的创新能力、效率、产品质量和环境可持续性。该计划受到德国“工业 4.0”战略的启发,其核心目标是通过技术升级和产业转型,将中国从一个制造大国转变为一个制造强国。

1. “中国制造 2025”产生的背景

“中国制造 2025”产生的背景可以从以下几个方面来理解。

(1) 全球制造业竞争加剧。随着全球化的深入发展,各国之间的制造业竞争日益激烈。中国作为体量很大的制造国,面临着来自发达国家高端制造业和新兴经济体低成本制造业的双重挑战。

(2) 工业升级的迫切需求。长期以来,中国制造业以低成本、劳动密集型为主导,这种模式难以持续,因为劳动力成本上升、资源环境约束加强等问题日益凸显。中国需要通过技术创新和产业升级,实现由“大”到“强”的转变。

(3) 科技进步与工业革命。第四次工业革命的到来,以及信息技术、人工智能、物联网等新技术的快速发展,为制造业的转型升级提供了新的机遇。中国希望抓住这一机遇,加快产业结构调整和技术创新步伐。

(4) 经济增长模式转变。中国经济增长模式需要从过去依赖投资和出口拉动转向更加依赖内需和创新驱动。“中国制造 2025”的提出,旨在推动制造业转型升级,促进经济结构优化和增长方式转变。

(5) 提升国际竞争力。在全球价值链中,中国制造业多集中在中低端环节,缺乏核心技术和品牌价值。“中国制造 2025”旨在通过提升技术水平和产品质量,增强中国产品的国际竞争力。

2. 智能制造系统架构

智能制造系统架构通过生命周期、系统层级和智能功能 3 个维度构建完成,主要解决智能制造标准体系结构和框架的建模研究。

生命周期由设计、生产、物流、销售、服务等一系列相互联系的价值创造活动组成的链式集合。生命周期中各项活动相互关联、相互影响。不同行业的生命周期构成不尽相同。

系统层级自下而上共 5 层,分别为设备层、控制层、车间层、企业层和协同层。智能制造的系统层级体现了装备的智能化和互联网协议(IP)化,以及网络的扁平化趋势。

智能功能包括资源要素、系统集成、互联互通、信息融合与新兴业态。

3. 智能制造标准体系结构

智能制造标准体系结构包括“A 基础共性”“B 关键技术”和“C 重点行业”3 部分,主要反映标准体系各部分的组成关系,如图 5-6 所示。

(1) A 基础共性标准包括基础、安全、管理、检测评价和可靠性五大类,位于智能制造标准体系结构图的最底层,其研制的基础共性标准支撑着 B 关键技术标准和 C 重点行业标准。

(2) BA 智能装备标准位于 B 关键技术标准的最底层,与智能制造实际生产联系最为紧密。

(3) 在 BA 智能装备标准之上是 BB 智能工厂标准,是对智能制造装备、软件、数据的综合集成,该标准领域起着承上启下的作用。

(4) BC 智能服务标准位于 B 关键技术标准的顶层,涉及对智能制造新模式和新业态的标准研究。

(5) BD 工业软件和大数据标准与 BE 工业互联网标准贯穿 B 关键技术标准的其他 3 个领域(BA、BB 和 BC),打通物理世界和信息世界,推动生产型制造向服务型制造转型。

(6) C 重点行业标准位于最顶层,面向行业具体需求,对 A 基础共性标准和 B 关键技术标准进行细化和落地,指导各行业推进智能制造。

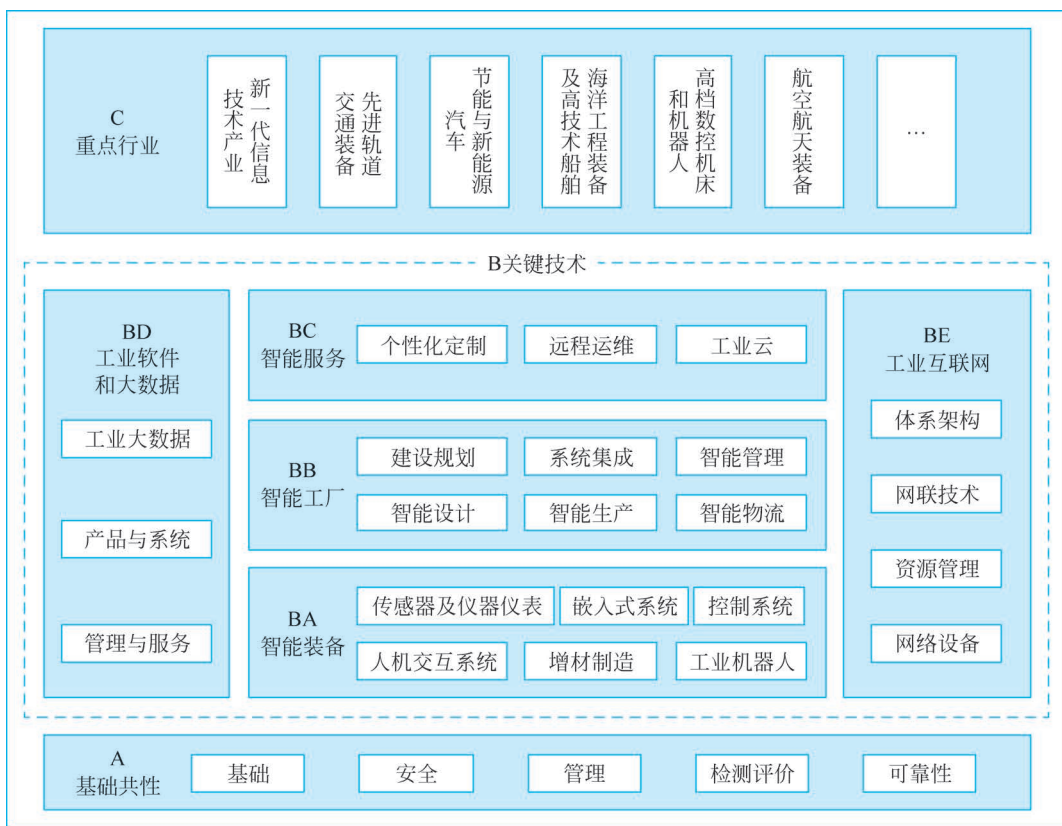


图 5-6 智能制造标准体系结构

5.6 自动驾驶汽车技术概述

人工驾驶就是无自动驾驶阶段,人对车辆的驾驶过程包括环境感知、环境识别、驾驶决策和驾驶操作 4 个功能的循环。

人工驾驶时,驾驶员是整个汽车系统驾驶操作的唯一决策者和执行者,驾驶员通过操作方向盘、油门、刹车、挡位和发动机等实现对汽车的驾驶。人脑的环境感知(Perception)就是通过人的视觉与听觉完成对车辆环境(道路基础设施与道路目标物)和交通运行环境(交通信号灯的信号与交通标示的信息)的感知;环境识别(Recognition)就是通过大脑对环境感知信息进行处理和分析,形成对车辆环境和道路交通紧急危险状况的检测、判断与识别;驾驶决策(Judgment)就是根据对车辆环境和道路交通紧急危险状况的识别结果,结合驾驶员的驾驶经验和驾驶目的地要求,作出对车辆的下一步驾驶决策;驾驶操作(Operation)就是驾驶员(通过或不通过电子控制单元)对车辆进行人工驾驶,不断改变车辆的运动方向、速度和位置,如此形成从感知、识别、决策和操作到再感知的循环手动驾驶过程,确保车辆安全地到达目的地。

自动驾驶就是用汽车智能化技术替代人类驾驶。具体而言,就是用智能化技术替代人的感觉器官感知环境的功能、人的大脑识别环境并进行驾驶决策的功能、人的四肢进行驾驶操作的功能。



自动驾驶汽车依靠人工智能、视觉计算、雷达、监控装置和全球定位系统协同合作,让计算机可以在没有任何人类主动的操作下,自动安全地操作机动车辆。

5.6.1 自动驾驶系统架构

自动驾驶是一个复杂的软硬件结合的系统,主要分为感知定位、决策规划、控制执行三大技术模块。感知定位模块主要是通过摄像头、雷达等高精度传感器,为自动驾驶提供环境信息;决策规划模块是依据感知系统提供的车辆定位和周边环境数据,在平台中根据适当的模型进行路径规划等决策;控制执行模块是以自适应控制和协同控制方式,驱动车辆执行相应命令动作。典型自动驾驶系统架构如图 5-7 所示。

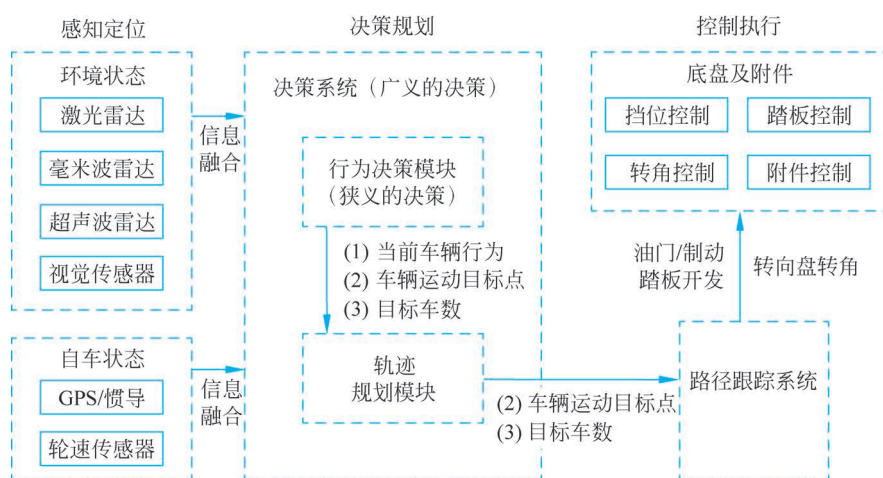


图 5-7 典型自动驾驶系统架构

1. 感知定位

环境感知与识别能力是自动驾驶车辆安全、自主、可靠行驶的前提和基础。自动驾驶车辆的环境感知系统利用各种主动、被动传感器获取周围环境的信息,对传感器数据进行处理、融合、理解,实现无人车辆对行驶环境中的障碍物、车道线以及红绿灯等的检测,给车辆的自主导航和路径规划提供依据。

传感器系统通常采用摄像机、激光雷达、超声传感器、毫米波雷达、全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)、里程计以及磁罗盘等多种车载传感器感知环境。视觉传感器包括单目和多目彩色摄像机,距离探测设备包括声呐、毫米波雷达和激光雷达等。其中,激光雷达和毫米波雷达能够测得目标的相对速度,获得三维点云数据;里程计和惯性传感器能够估计车辆的运动。

2. 决策规划

自动驾驶系统的安全可靠运行需要车载硬件传感器集成、感知、决策以及控制等多个模块的协同配合工作。环境感知和决策规划的紧密配合非常重要。这里的决策规划在广义上可以分为无人车路由寻径、行为决策、动作规划等。

无人车路由寻径的作用从简单意义上可以理解为实现无人车软件系统内部的导航功能,即在宏观层面上指导无人车软件系统的规划控制模块按照什么样的道路行驶,从而实现从起始地到目的地。值得注意的是,路由寻径虽然在一定程度上类似传统的导航,但其在细

节上紧密依赖专门为无人车导航绘制的高精地图,与传统的导航有本质的不同。

路由寻径模块产生的路径信息,直接被下游的行为决策模块所使用。行为决策接收路由寻径的结果,同时接收感知预测和地图信息。综合这些输入信息,行为决策模块在宏观上决定无人车如何行驶。这些行为层面的决策包括在道路上的正常跟车、在遇到交通灯和行人时的等待避让,以及在路口和其他车辆的交互通过等。

无人车的动作规划问题是整个机器人动作规划领域中相对简单的一个问题,因为车辆的轨迹附于一个二维平面。车辆在方向盘、油门的操控下,其行驶轨迹的物理模型相比普通机器人姿态的三维动作轨迹要容易处理。车辆的实际运行轨迹总是呈现出平滑的类似螺旋线的曲线簇的属性,因此轨迹规划这一层面需要解决的问题往往可以非常好地抽象为一个在二维平面上的时空曲线优化问题。

3. 控制执行

架构最下层的模块是控制执行模块。这是一个直接和无人车底层控制接口 CAN 总线对接的模块,其核心任务是接收上层动作规划模块的输出轨迹点,通过一系列结合车身属性和外界物理因素的动力学计算,转换为对车辆油门、刹车的控制以及方向盘信号,尽可能地控制车辆执行这些轨迹点。控制执行模块主要涉及对车辆自身的控制,以及和外界物理环境交互的建模。

对于自动驾驶中的控制执行,线控技术显然要比传统的机械、液压技术更受青睐,目前技术较为成熟的自动驾驶车辆基本都是在线控应用高度成熟的车辆平台升级改造出来的。从概念上说,汽车线控技术是将驾驶员的操纵动作经过传感器转换为电信号,通过电缆直接传输到执行机构的一种控制系统。

通过分布在汽车各处的传感器实时获取驾驶员的操作意图和汽车行驶过程中的各种参数信息,传递给控制器;控制器对这些信息进行分析和处理,得到合适的控制参数并传递给各个执行机构,从而实现对汽车的控制,提高车辆的转向性、动力性、制动性和平顺性。

5.6.2 自动驾驶功能体系架构

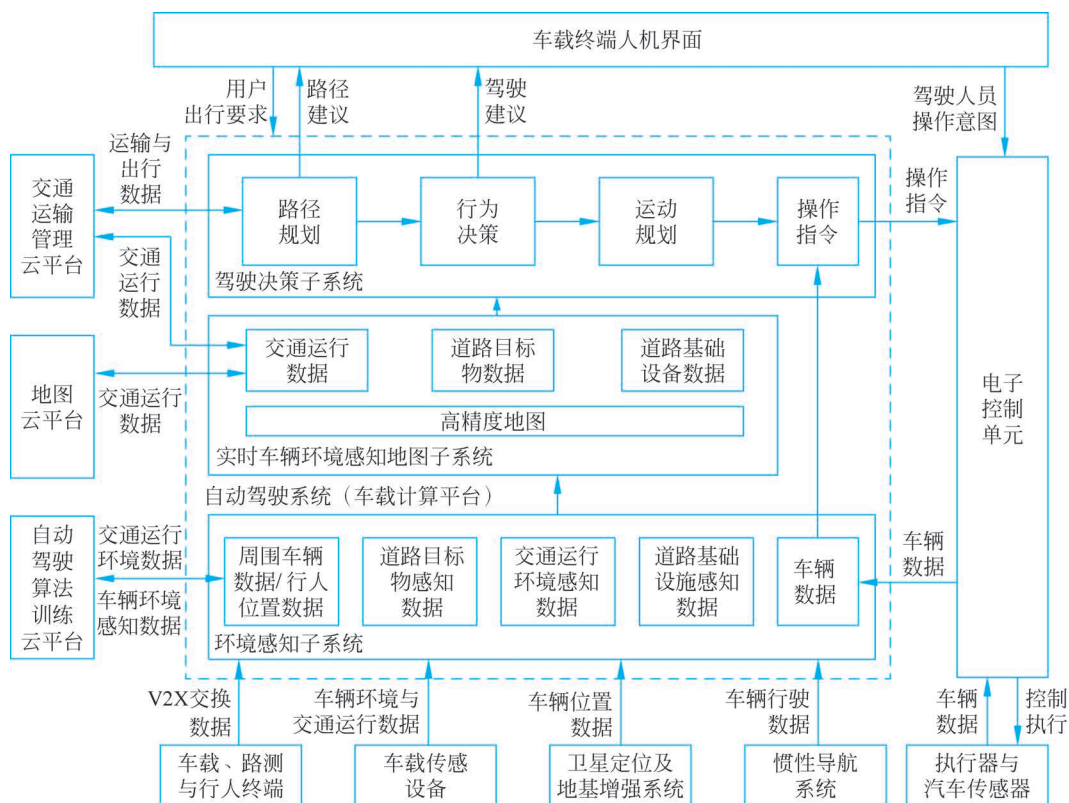
自动驾驶功能体系架构如图 5-8 所示。

对于 SAE L0~L2 级的驾驶辅助系统,车载计算平台可以由微控制器(MCU)实现,此时的车载计算平台就是一个电子控制单元(ECU)。对于 SAE L3~L5 级的自动驾驶,车载计算平台将由处理能力强大的人工智能芯片实现。随着智能汽车的发展,车载计算平台可作为车载终端的计算处理单元与人机界面和车载通信单元(蜂窝移动通信和 V2X 协同通信)等,被统一集成在车载终端内。

自动驾驶的功能可分成 3 层:环境感知子系统、实时车辆环境感知地图子系统和驾驶决策子系统。

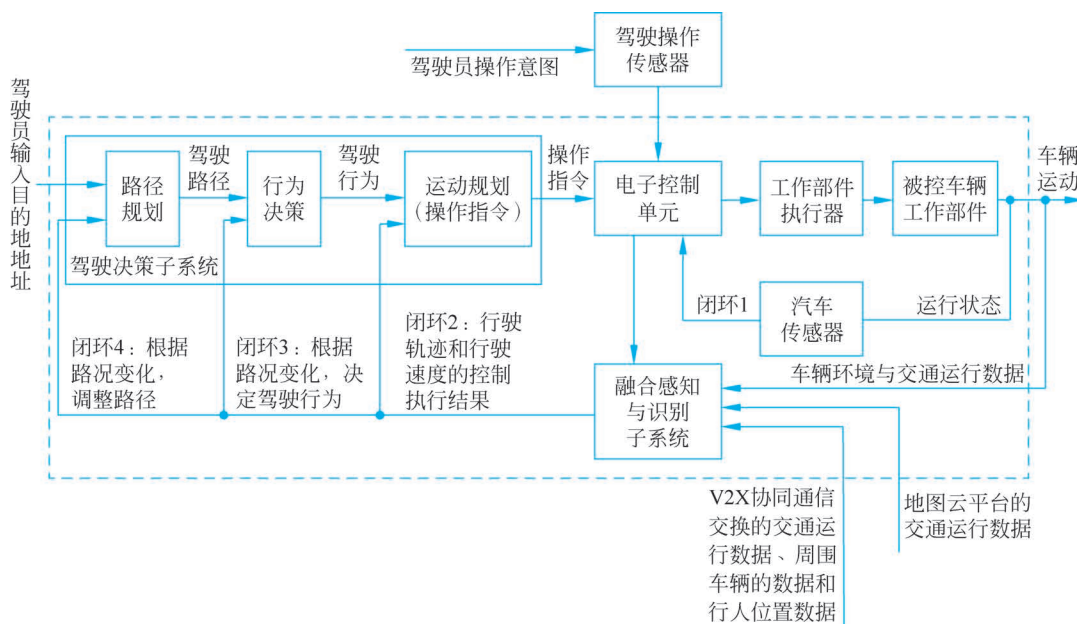
第 1 层的环境感知数据被交给第 2 层的实时车辆环境感知地图子系统,第 2 层的结果被送到第 3 层的驾驶决策子系统。自动驾驶系统还分别与车内的车载终端人机界面和电子控制单元、车载传感设备、卫星定位及地基增强系统、惯性导航系统等连接。连接方式可以是汽车总线、车载以太网或 USB 接口等。

自动驾驶系统还分别与车外其他车辆的车载终端、路侧终端和用户的智能手机、交通运输管理平台、地图云平台和自动驾驶算法训练云平台等连接,连接方式可以是蜂窝移动通信网络或 V2X 协同通信自组织网。



5.6.3 自动驾驶闭环控制系统

自动驾驶闭环控制系统架构如图 5-9 所示。共有 4 个闭环系统：闭环 1 是汽车工作部



件闭环控制系统,闭环 2 是汽车行驶轨迹和行驶速度闭环控制系统,闭环 3 是汽车驾驶行为闭环决策系统,闭环 4 是汽车行驶路径闭环决策系统。

1. 闭环 1: 汽车工作部件闭环控制系统

在汽车工作部件闭环控制系统中,电子控制单元(ECU)是汽车各工作部件的控制器,ECU 接收驾驶决策子系统的驾驶操作指令,通过汽车传感器感知汽车部件的运行状态,并通过电磁阀、步进电机、伺服电机、点火线圈和开关等执行器件控制车辆各工作部件,如转向器、发动机、刹车和齿轮箱的工作。

如果驾驶员想接管对车辆的操作,ECU 通过驾驶操作传感器检测到驾驶员的操作意图,并通过环境感知子系统将驾驶员的操作意图告知驾驶决策子系统。于是驾驶决策子系统放弃对汽车的驾驶操作与控制,直接由 ECU 感知、理解驾驶员的操作,通过汽车传感器和执行器件控制车辆各工作部件的工作。

在自动驾驶期间,ECU 的作用有 3 个。首先,最基本的作用是作为车辆工作部件的控制器;其次,ECU 直接从驾驶决策子系统接收关于行驶轨迹和行驶速度的操作指令,是其上位控制器——车载计算平台的执行器;最后,ECU 负责传递驾驶员的操作意图,相当于驾驶操作传感器的一部分。

2. 闭环 2: 汽车行驶轨迹和行驶速度闭环控制系统

车载计算平台是汽车行驶轨迹和行驶速度的控制器,具体由运动规划与操作指令功能模块完成。在运动规划功能模块接收到行为决策结果后,根据从环境感知子系统获得的汽车行驶轨迹和行驶速度的控制结果(本车车辆数据),形成对汽车行驶轨迹和行驶速度的操作指令,并通过汽车总线将操作指令传输到对应的 ECU 和汽车工作部件,实施对汽车行驶轨迹的调整控制。ECU 及其闭环 1 相当于运动规划模块及其闭环 2 的执行器。

3. 闭环 3: 汽车驾驶行为闭环决策系统

车载计算平台也是汽车驾驶行为的决策系统,行为决策功能模块根据从实时车辆环境感知地图子系统获得的道路基础设施、道路目标物和交通运行环境的变化情况,进行驾驶行为决策。例如,发现前方车辆很少,可以换道超车,行为决策功能模块将启动换道行为决策,并将新的换道行为交由运动规划功能模块重新进行行驶轨迹规划和速度规划,将相关的操作指令发给 ECU,实施对汽车行驶轨迹的控制。运动规划模块及其闭环 2 相当于行为决策模块及其闭环 3 的执行器。

4. 闭环 4: 汽车行驶路径闭环决策系统

车载计算平台也是汽车行驶路径决策系统,路径规划功能模块首先根据道路基础设施数据、交通状况数据和用户的运输出行要求(出发地和目的地)规划汽车的行驶路径。在自动驾驶期间,路径规划功能模块将通过实时车辆环境感知地图子系统的功能不断监测道路交通状况变化。如果道路交通状况发生较大变化,如当前方道路因交通事故而出现道路拥堵,路径规划功能模块将进行行驶路径规划调整,以避免交通事故发生地段,并将路径规划调整的结果发给行为决策功能模块,行为决策功能模块根据新的行驶路径启动新的驾驶行为决策。行为决策模块及其闭环 3 相当于路径规划模块及其闭环 4 的执行器。

自动驾驶功能体系架构确定了自动驾驶系统及其子系统和功能模块的作用。汽车电子化、网联化、智能化和信息共享化等关键技术可用于实现自动驾驶系统的各项功能。

自动驾驶的主要功能与自动驾驶关键技术的关系如图 5-10 所示。

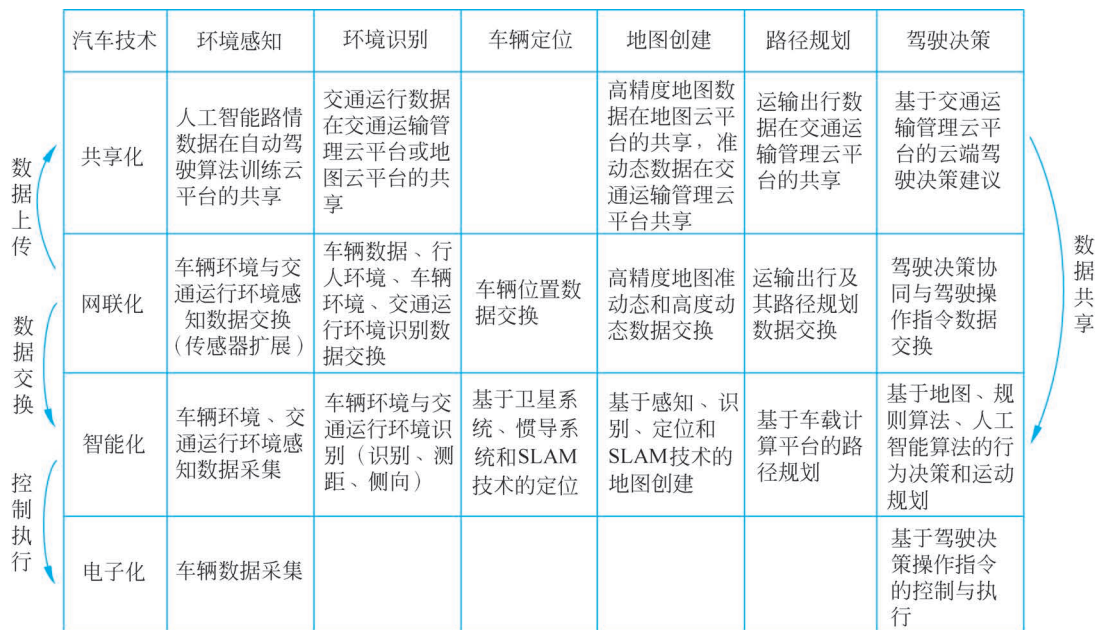


图 5-10 自动驾驶的主要功能与自动驾驶关键技术的关系

汽车智能化技术是实现这些功能的主要关键技术,包括人工智能芯片、车载计算平台、传感技术、视觉识别、雷达测距测向、卫星定位及地基增强系统、惯导系统、高精度地图创建和人工智能等。

汽车电子化技术为汽车智能化提供基本的汽车数据,同时也为驾驶决策的执行提供电子控制器、执行器和工作部件。

V2X 协同通信和蜂窝移动通信等汽车网联化技术为自动驾驶的环境感知、环境识别、车辆定位、地图创建和驾驶决策等功能提供数据交换能力,是汽车自动驾驶的环境感知、环境识别、地图创建和驾驶决策功能的重要补充,网联化技术与智能化技术的结合产生了网联自动驾驶;此外,网联化技术也为汽车和交通信息共享化的数据上传和下发提供技术手段。

基于云计算平台的汽车和交通信息共享化技术为自动驾驶提供共享的环境感知、环境识别和地图数据,也为自动驾驶的路径规划提供决策建议,汽车信息共享化与智能化技术的结合产生了基于云端决策的网联自动驾驶和智能交通。

5.6.4 自动驾驶的行业案例

自动驾驶作为目前的热门技术,直接催生了一个行业。各国各企业都在大力发展自动驾驶技术,主要有两条技术路线。

(1) 以谷歌、百度等互联网软件企业为主要代表,依靠高精度地图开发软件算法,搭建自动驾驶平台以开源或其他方式向合作整车厂提供完整技术链,目标直指 L4 甚至 L5 的技术路线。

(2) 以特斯拉、奥迪等整车厂为主要代表,将成熟产品推向市场,从 L1、L2 逐步向上攀升,慢慢迭代至无人驾驶的技术路线。

下面分别对这几家企业的技术发展做简要介绍。

1. 谷歌 Waymo

谷歌主张直接以“机器人系统”为核心的全自动无人驾驶汽车作为开发目标,研究无人驾驶汽车的外部环境感知、检测、判断和控制算法。

2009 年谷歌启动无人驾驶汽车项目,将丰田普锐斯改造成谷歌第一代无人驾驶车,如图 5-11 所示。该车采用 64 束激光雷达,突出地图优势,并在加州山景城进行了路测。



图 5-11 谷歌第一代无人驾驶车

2018 年 1 月底,谷歌 Waymo 已经从美国亚利桑那州交通部门拿到了正式的无人驾驶商用许可,并于 2018 年底正式推出其无人驾驶打车服务。这项服务的名称被命名为 Waymo One。Waymo 在美国亚利桑那州凤凰城正式向公众开放这项服务,并且向用户介绍了其使用方法。

谷歌无人驾驶汽车的感知核心是位于车顶的旋转式激光雷达,该设备可以发出 64 道激光光束,能够计算出 200m 以内物体的距离,得到精确的三维地图数据。自动驾驶汽车会将激光雷达测得的数据和高精地图相结合,生成反映周边环境的数据模型。安装在前挡风玻璃的摄像头可以用于近景观察,帮助自动驾驶汽车识别前方的人和车等障碍物,记录行程中的道路情况和交通信号的标志,最后通过相应算法对信息进行综合和分析。轮胎上的感应器可以保证汽车在确定轨道内行驶;倒车时,能快速测算出后方障碍物的距离,实现安全停车。汽车前后保险杠内安装有 4 个雷达元件,可以保证汽车在道路上保持 2~4s 的安全反应时间,并根据车速变化进行距离调整,最大程度保证乘客的安全。

2. 百度 Apollo

从 2015 年开始,百度大规模投入无人车技术研发;同年 12 月即在北京进行了高速公路和城市道路的全自动驾驶测试;2016 年 9 月获得美国加州自动驾驶路测牌照;同年 11 月在浙江乌镇开展普通开放道路的无人车试运营。

2017 年 4 月 19 日,百度发布 Apollo(阿波罗)平台,向汽车行业及自动驾驶领域的合作伙伴提供一个开源的自动驾驶方案,帮助开发者结合车辆和硬件系统,快速搭建一套完整的自动驾驶系统。而将这个计划命名为 Apollo 计划,就是借用了阿波罗登月计划的含义。

百度开放的 Apollo 平台是一套完整的软硬件和服务系统,包括车辆平台、硬件平台、软件平台、云端数据服务 4 大部分。同期开放的还有环境感知、路径规划、车辆控制、车载操作系统等功能的代码或能力,并且提供完整的开发测试工具并在车辆和传感器等领域选择协同度和兼容性最好的合作伙伴,推荐给接入 Apollo 平台的第三方合作伙伴使用,进一步降低无人车的研发门槛。

Apollo 试验车如图 5-12 所示。



图 5-12 Apollo 试验车

Apollo 平台的核心是人工智能技术,这是搭建该平台的主要支柱。Apollo 计划用两种形式开放自动驾驶能力:一是开放代码,二是开放能力。

开放能力主要基于 API 或 SDK,通过标准公开的方式获取百度提供的能力开放代码。与一般开源软件一样,代码公开,开发者可以在遵守开源协议的前提下自由使用,并可参与一起开发。

2018 年 7 月 4 日,在 2018 AI 开发者大会上,百度正式发布自动驾驶车辆量产方案,包含自主泊车(Valet Parking)、无人作业小车(MicroCar)、自动接驳巴士(MiniBus)3 套自动驾驶解决方案。

Apollo 3.0 还带来了量产智能车联网系统解决方案小度车载 OS,并首次发布车载语义开放平台。

Apollo 平台还带来了更多样化的智能仿真手段,推出真实环境 AR 仿真系统,能提供虚拟交通流结合实景渲染的仿真解决方案,帮助开发者实现相对真实的仿真测试。

3. 特斯拉

特斯拉(Tesla)是美国的一家电动车及能源公司,产销电动车、太阳能板及储能设备。公司创立于 2003 年,后改名为“特斯拉汽车(Tesla Motors)”,以纪念物理学家尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla),创始人是著名的硅谷“钢铁侠”埃隆·马斯克(Elon Musk)。

2015 年,特斯拉正式启用驾驶辅助系统 AutoPilot,并开始利用影子模式(Shadow-Mode)功能收集大量真实的路况数据。2016 年特斯拉发布 AutoPilot 2.0,称其可以实现常见道路的全自动驾驶,并且包括 Model 3 车型都可以搭载,如图 5-13 所示。



图 5-13 特斯拉的驾驶辅助系统 AutoPilot

5.7 自动驾驶汽车技术架构与分级

自动驾驶汽车技术架构是一个复杂的系统,它整合了多种技术实现车辆的自主导航和控制。自动驾驶汽车技术分级是根据汽车的自动化程度来定义的,由国际汽车工程师学会(SAE International)制定,分级从 0 级到 5 级。

5.7.1 自动驾驶汽车技术架构

自动驾驶汽车是指能够感知环境、自动规划路线并控制汽车到达目的地的一种智能汽车。自动驾驶汽车利用车载或路测传感器感知汽车周围环境,并根据传感器所获得的道路、汽车位置和障碍物等信息规划、控制汽车的转向和速度,从而使汽车能够安全、可靠、合法地在道路上行驶。自动驾驶汽车是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展、应用的产物。自动驾驶汽车技术架构如图 5-14 所示。

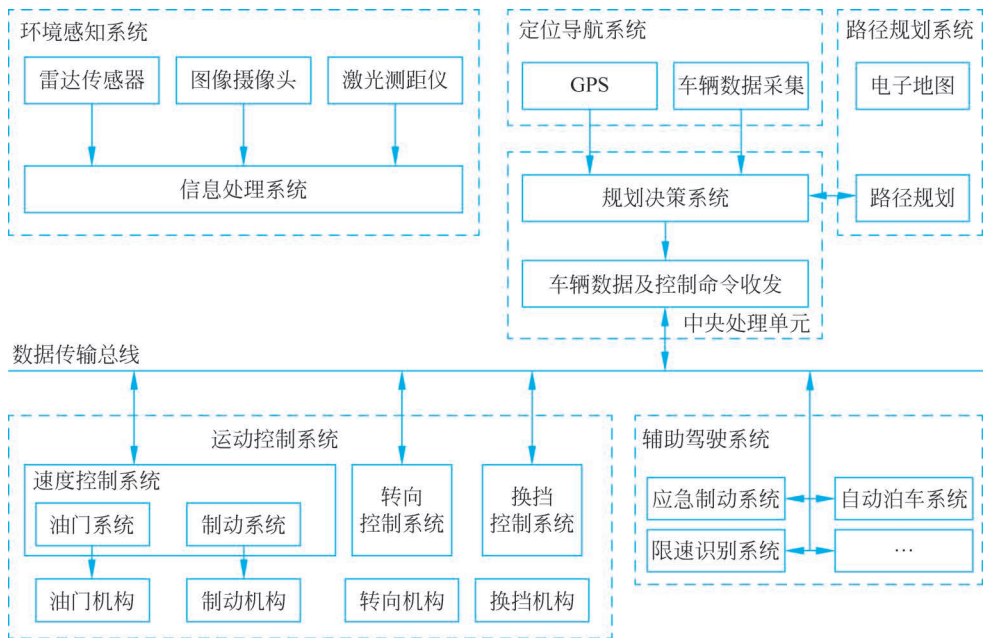


图 5-14 自动驾驶汽车技术架构

5.7.2 NHTSA 与 SAE 自动驾驶分级

自动驾驶技术的发展并非一蹴而就,从手动驾驶到完全自动驾驶,其间需要经历相当长的缓冲时期。统一自动驾驶等级的概念对于这一发展过程具有非常重要的意义,它有助于消除人们对自动驾驶概念的混淆,实现对不同自动驾驶能力的区分和定义。

全球汽车行业中两个最权威的分级系统分别由美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)和国际自动化工程师协会(SAE)提出。

2013 年, NHTSA 首次发布了自动驾驶汽车分级标准,对自动化的描述分为 5 个等级。2014 年 1 月, SAE 制定了 J3016 自动驾驶分级标准,对自动化的描述分为了 L0~L5 共 6 个

等级,以区分不同层次的自动驾驶技术之间的差异。

两个分级标准拥有一个共同之处,即自动驾驶汽车和非自动驾驶汽车之间存在一个关键区别,即汽车本身是否能控制一些关键的驾驶功能,如转向、加速和制动。在对自动驾驶汽车的描述上,尽管两种标准使用的语言略有不同,但都使用相同的分类系统。自动驾驶分级如表 5-1 所示。

表 5-1 自动驾驶分级

自动驾驶分级		名称	定 义	驾驶操作	周边监控	接管	应用场景
NHTSA	SAE						
L0	L0	人工驾驶	有人类驾驶者全权驾驶汽车	人类驾驶员	人类驾驶员	人类驾驶员	无
L1	L1	辅助驾驶	汽车对方向盘和加减速中的一项操作提供驾驶,人类驾驶员负责其余的驾驶动作	人类驾驶员和汽车	人类驾驶员	人类驾驶员	限定场景
L2	L2	部分自动驾驶	汽车对方向盘和加减速中的多项操作提供驾驶,人类驾驶员负责其余的驾驶动作	汽车	人类驾驶员	人类驾驶员	
L3	L3	条件自动驾驶	由汽车完成绝大部分驾驶操作,人类驾驶员需保持注意力集中以备不时之需	汽车	汽车	人类驾驶员	
L4	L4	高度自动驾驶	由汽车完成所有驾驶操作,人类驾驶员无须保持注意力,但限定道路和环境条件	汽车	汽车	汽车	
	L5	完全自动驾驶	由汽车完成所有驾驶操作,人类驾驶员无须保持注意力	汽车	汽车	汽车	所有场景

两种分级标准的区别主要在于对完全自动驾驶级别的划分。SAE 将 NHTSA 的 L4 级细分为 L4 和 L5 两个级别。SAE 与 NHTSA 这两分级标准的区别主要在于对完全自动驾驶级别的定义与划分。与 NHTSA 不同,SAE 将其包含的 L4 级再划分为 L4 和 L5 两个级别。SAE 的这两个级别都可定义为完全自动驾驶,即汽车已经能够独立处理所有驾驶场景、完成全部驾驶操作,完全不需要驾驶员的接管或介入。这两个级别仍存在区别,L4 级的自动驾驶通常适用于城市道路或高速公路这类部分场景;而 L5 级的要求更严苛,汽车必须在任何场景下做到完全自动驾驶。

5.7.3 中国自动驾驶分级

中国对自动驾驶的分级首次出现在“中国制造 2025”的重点领域技术路线图中,其中将汽车按智能化和网联化两个发展方向进行分级。与 SAE 自动驾驶分级基本保持对应,SAE-China 将自动驾驶汽车分为 DA、PA、CA、HA、FA 共 5 个等级,考虑中国道路交通情

况的复杂性,加入了对应级别下智能系统能够适应的典型工况特征。

5.8 汽车线控系统技术

汽车线控系统技术(Drive-by-Wire 或 X-by-Wire)是一种用于汽车的电子控制技术,它通过电子信号代替传统的机械连接和液压系统控制汽车的各种功能,如转向、制动、加速和换挡。

5.8.1 汽车线控技术概述

汽车线控技术(X-by-Wire)起源于飞机的电传操纵系统,飞行员不再通过传统的机械回路或液压回路控制飞机的飞行姿态,而是通过安装在操纵杆处的传感器检测飞行员施加在其上的力和位移,并将其转换为电信号,在 ECU 中将信号进行处理,然后传输到执行机构从而实现对飞机的控制。随着线控技术的发展,这一技术逐渐应用到汽车,部分汽车线控系统示意图如图 5-15 所示。

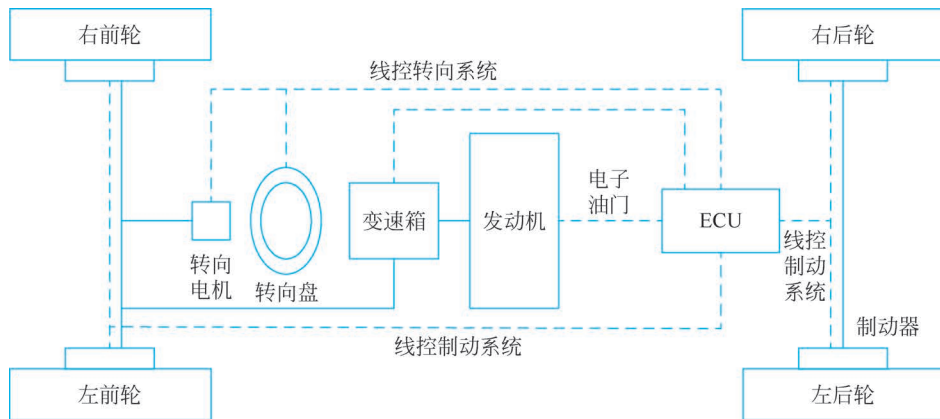


图 5-15 部分汽车线控系统示意图

汽车线控技术就是将驾驶员的操纵动作经过传感器转换为电信号,通过电缆直接传输到执行机构的一种系统。目前,汽车的线控系统主要有线控转向系统、线控油门系统、线控制动系统、线控悬架系统、线控换挡系统以及线控增压系统等。

通过分布在汽车各处的传感器实时获取驾驶员的操作意图和汽车行驶过程中的各种参数信息,传输给控制器,控制器将这些信息进行分析 and 处理,得到合适的控制参数传输给各个执行机构,从而实现对汽车的控制,提高车辆的转向性、动力性、制动性和平顺性。

线控系统与传统的机械控制系统相比,采用了完全不同的控制方式,具有机械控制系统无可比拟的优点,具体如下。

(1) 汽车更加轻便。采用线控系统之后,舍去了传统的机械控制装置。一方面,极大地减轻了汽车的整备质量,降低了汽车的能源消耗,也减少了汽车的噪声和震动;另一方面,传统机械装置的去除以及电线布置的灵活性也节省了大量的空间,提高驾驶员和乘客的乘坐舒适性,也有利于实现模块化的底盘设计。

(2) 控制更为精确。由于采用传感器实时收集汽车的各项参数,驾驶员动作的行程、需

要调节的程度也可以通过传感器准确地记录,控制的精度高。

(3) 操作更加便捷。驾驶员仅仅通过调节某些按键即可在汽车内部实现一系列复杂的操控,大大降低了操纵的复杂程度。

(4) 控制策略更加丰富。可以实现对底盘多个子系统的协调控制,以提高汽车的各项性能。

(5) 生产制造更加简单。线控技术在汽车上的发展可以极大地简化汽车的生产、装配和调试过程,节约生产成本,缩短开发周期,也有利于汽车生产企业根据用户需求的不同进行个性化的定制。

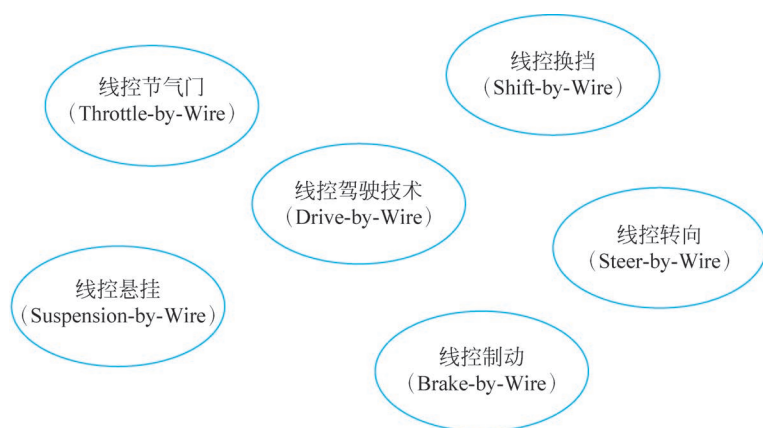
(6) 安全性大大提高。采用线控转向系统的汽车,由于舍去了传统的转向轴,当汽车发生撞击时,降低了机械部件对驾驶员的伤害。

(7) 系统工作效率大大提高。汽车内部各种信息都是通过电信号进行传输,极大地提高了信息传递的效率,控制更加迅速,响应更加灵敏。

5.8.2 车辆线控系统

自动驾驶车辆的路径规划等驾驶决策是由传感器根据实际的道路交通情况识别进而得出的,决策的执行都是通过电信号,这就需要对传统汽车的底盘进行线控改造以适用于自动驾驶。

自动驾驶车辆线控底盘主要包含5大系统,分别为线控转向、线控制动、线控换挡、线控节气门、线控悬挂。自动驾驶车辆线控底盘构成如图5-16所示。



线控节气门、线控换挡、线控转向和线控制动都是面向自动驾驶执行端方向最核心的产品,其中又以制动技术难度更高。

1. 线控节气门

线控节气门指通过用线束代替拉索或拉杆,在节气门部位装一只微型电动机,用电动机驱动节气门开度。线控节气门主要由加速踏板、踏板位移传感器、ECU、CAN 总线、伺服电动机和节气门执行机构组成。线控节气门控制原理如图5-17所示。

2. 线控换挡

线控换挡技术是将传统的机械手动挡位改为手柄、拨杆、转盘、按钮等电子信号输出的

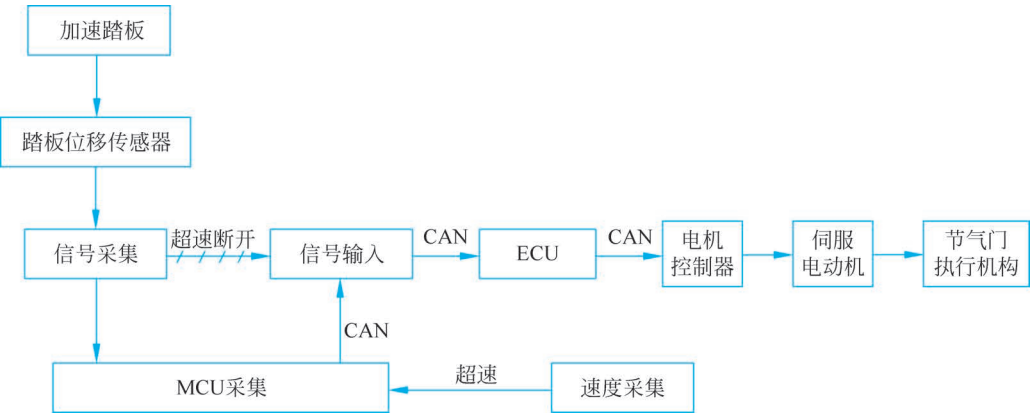


图 5-17 线控节气门控制原理

方式。线控换挡对燃油车自动变速器的控制方式不会改变,技术难度小,该技术对自动驾驶影响不大。线控换挡技术已经发展得非常成熟,随着自动驾驶汽车技术逐步落地,将会是未来整车的标准配置。

3. 线控转向

线控转向是指取消方向盘与转向车轮之间的机械连接,采用电信号控制车轮转向,可以自由设计汽车转向系统角传递特性和力传递特性,实现许多传统转向系统不具备的功能。

线控转向系统主要由方向盘总成、转向执行总成、线控转向系统控制器等组成,如图 5-18 所示。

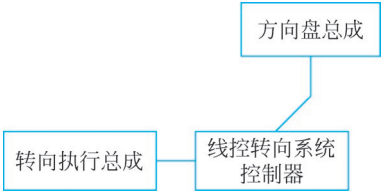


图 5-18 线控转向系统

线控转向系统的工作原理是驾驶员操纵方向盘,系统控制器采集方向盘转角、车速和横摆角速度等传感器信号,通过预先设置的控制策略对汽车转向运动进行控制,同时路感模拟系统根据汽车不同行驶工况对路感进行模拟并反馈给驾驶员。

4. 线控制动

线控制动是指采用电线取代部分或全部制动管路,通过控制器操纵电控元件控制制动力大小。线控制动系统由制动踏板模块、车轮制动动作器、制动控制器等部分组成。制动踏板模块包括制动踏板、踏板行程传感器、踏板力感模拟器。踏板行程传感器通过检测驾驶者的制动意图并将其传输给制动控制器,控制器综合纵向或横向加速度传感器、横摆角速度传感器等信号进行计算,并控制车轮制动器快速而精确地提供所需的制动压力,同时制动踏板模块接收控制器送来的信号,控制踏板力感模拟器产生力感,以提供给驾驶员相应的踏感信息。

线制动系统主要分为电子驻车制动(Electronic Parking Brake, EPB)系统、电液线控制动(Electronic Hydraulic Brake, EHB)系统和电子机械制动(Electro-Mechanical-Brake, EMB)系统等类型。

5.9 汽车运动控制

汽车运动控制是指通过各种技术和系统管理和调节汽车的动态行为和性能,包括提高车辆的稳定性、操控性、舒适性以及安全性。

5.9.1 汽车运动控制概述

运动控制是自动驾驶汽车研究领域的核心问题之一,指根据当前周围环境和车体位置、姿态、车速等信息按照一定的逻辑作出决策,并分别向油门、制动及转向等执行系统发出控制指令。

运动控制作为自动驾驶汽车实现自主行驶的关键环节,主要包括横向控制、纵向控制以及横纵向协同控制。

横向控制主要研究自动驾驶汽车的路径跟踪能力,即如何控制汽车沿规划的路径行驶,并保证汽车的行驶安全性、平稳性与乘坐舒适性。

纵向控制主要研究自动驾驶汽车的速度跟踪能力,控制汽车按照预定的速度巡航或与前方动态目标保持一定的距离。但独立的横向或纵向控制不能满足自动驾驶汽车的实际需求,因此,复杂场景下的横纵向协同控制研究,对于自动驾驶汽车来说至关重要。

一般地,横向控制系统的实现主要依靠预瞄跟随控制、前馈控制和反馈控制。

5.9.2 预瞄跟随控制

预瞄跟随控制原理是根据驾驶员操纵特征提出的。驾驶员模型是导航技术的重要组成部分,基于偏差调节的期望路径跟随控制系统可视为一个简易的驾驶员模型。

驾驶员基于外界环境、道路信息以及当前汽车的运动状态进行汽车操纵,预测汽车当前实际位置与道路中心线之间的侧向位移偏差和航向偏差的大小,从而转动方向盘使预测偏差为零,该预测偏差叫作预瞄侧向位移偏差或预瞄航向偏差。驾驶员依据预瞄偏差的大小转动对应的方向盘角度,从而完成对期望行驶路径的跟踪。

控制系统依据汽车行驶参数、道路曲率、预瞄偏差和汽车的动力学模型得出所需方向盘转角或前轮转角,从而实现对期望目标路径的跟踪。预瞄跟随控制器由预瞄环节与跟随环节构成,其结构如图 5-19 所示。

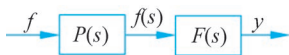


图 5-19 预瞄跟随控制结构

系统传递函数为

$$Y(s)/f(s) = P(s)F(s)$$

其中, $P(s)$ 为预瞄环节传递函数; $F(s)$ 为跟随环节传递函数。

在低频域条件下,理想状态下的预瞄跟随控制系统应该满足

$$P(s)F(s) \approx 1$$

5.9.3 横向控制

自动驾驶汽车作为一个高度非线性的非完整运动约束系统,其模型和所处外界环境存在不确定性及测量不精确性,导致对汽车进行运动控制具有一定的难度。

横向控制主要控制航向,通过改变方向盘扭矩或角度的大小等,使汽车按照想要的航向行驶。依据人类驾驶的经验,驾驶员在驾驶途中会习惯性地提前观察前方道路,并预估前方道路情况,提前获得预瞄点与汽车所处位置的距离。

建立自动驾驶汽车横向控制系统,首先需要搭建道路-汽车动力学控制模型,根据最优预瞄驾驶员原理与模型设计侧向加速度最优跟踪 PD 控制器,从而得到汽车横向控制系统。其次,以汽车纵向速度及道路曲率为控制器输入,预瞄距离为控制器输出,构建预瞄距离自动选择的最优控制器,从而实现汽车横向运动的自适应预瞄最优控制。横向控制流程如图 5-20 所示。

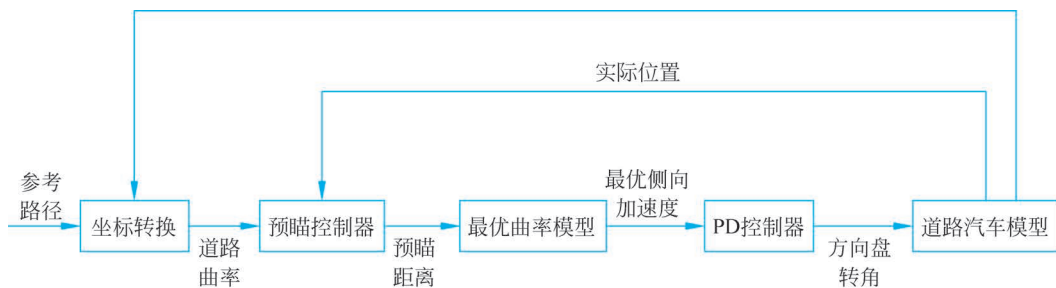


图 5-20 横向控制流程

5.9.4 纵向控制

纵向控制主要为速度控制,通过控制刹车、油门等实现对车速的控制。对于自动挡汽车,控制对象其实就是刹车和油门。

纵向控制作为智能驾驶汽车运动控制的重要组成部分,也是智能驾驶研究领域的核心难题之一。

自动驾驶汽车纵向控制的原理是基于油门踏板与制动踏板的控制与协调切换,从而控制汽车加速、减速,实现对自动驾驶汽车纵向期望速度跟踪与控制。

自动驾驶汽车纵向控制系统分为两种模式:直接式和分层式。直接设计控制器对控制参数进行调控的称作直接控制法;分成两个或多个控制器的称为分层结构控制法。直接式针对单个控制对象,不考虑控制对象与其他汽车的相对位置;分层式考虑汽车在行驶队列的转向、加速与制动等行为,以其他汽车作为参考进行控制。

1. 纵向控制的两种模式

直接式运动控制是通过纵向控制器直接控制期望制动压力和节气门开度,从而实现跟随速度和跟随减速度的直接控制,具有快速响应等特点。直接式运动控制结构如图 5-21 所示。

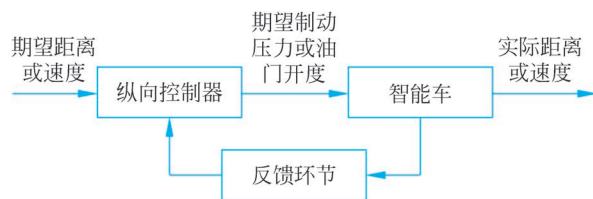


图 5-21 直接式运动控制结构

由于自动驾驶汽车纵向动力学模型为复杂多变量非线性系统,且存在较大的参数不确定性及测量不精确性,因此通过单个控制器实现多性能控制较为困难。为了降低纵向控制系统的设计难度,基于分层控制结构,根据控制目标的不同,将自动驾驶汽车纵向控制系统分为上位控制器和下位控制器进行单独设计。分层式运动控制结构如图 5-22 所示。

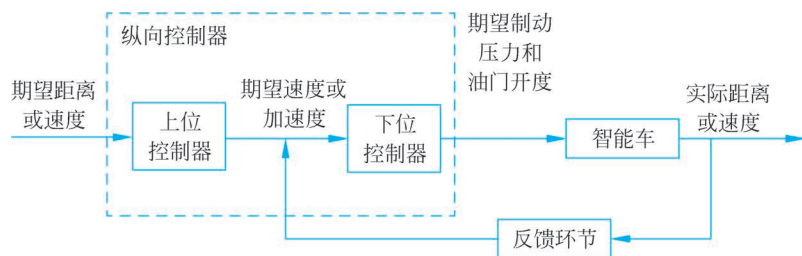


图 5-22 分层式运动控制结构

上位控制器控制策略设计的目的是产生期望车速或者期望加速度;下位控制器接收上位控制器产生的期望状态值,并按照其控制算法产生期望的制动压力值与期望油门开度值,从而实现汽车纵向车间距离或速度跟踪控制的功能。

2. 直接式运动控制实现过程

结合直接式运动控制流程,为了实现汽车纵向控制,通常需要考虑位移-速度闭环 PD 控制器和速度-加速度闭环 PID 控制器,并且需要对油门控制器、制动控制器以及两者的切换策略进行设计。然后,通过 PI 控制器参数调节优化控制器的性能,同时优化油门、制动切换控制逻辑,协调油门与制动动作实现对期望目标车速的跟踪。纵向控制结构如图 5-23 所示。

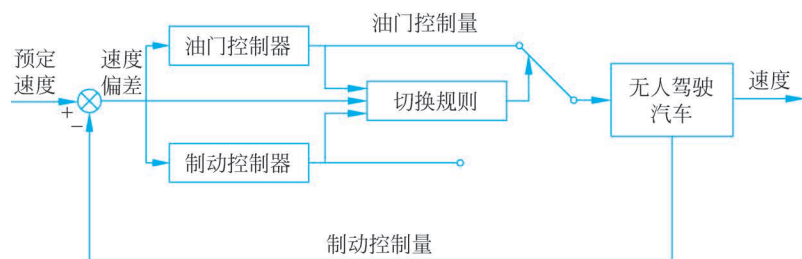


图 5-23 纵向控制结构

汽车在行驶过程中,如果同时踩下油门踏板与制动踏板,会损坏汽车动力系统和传动系统。因此,切换逻辑要保证以下两点。

(1) 在油门踏板踩下时需要释放制动踏板,在制动踏板踩下时需要释放油门踏板,避免油门踏板和制动踏板同时工作。

(2) 避免油门、制动踏板频繁切换。

由此设计油门踏板与制动踏板协调切换控制逻辑,根据期望车速与当前实际车速的误差协调控制加速、制动的切换。

5.9.5 横纵向协同控制

独立的横向控制系统或纵向控制系统并不能体现汽车实际运行时的特性,且不能满足各种道路工况需求。为实现横纵向控制器在实际情况下的控制效果,需要将横向控制与纵向控制协同起来并优化控制参数,构建自动驾驶汽车综合控制系统。该综合控制系统用于实现自动驾驶汽车的横纵向耦合运动控制。横纵向协同控制架构包括决策层、控制层与模型层。横纵向协同控制架构如图 5-24 所示。

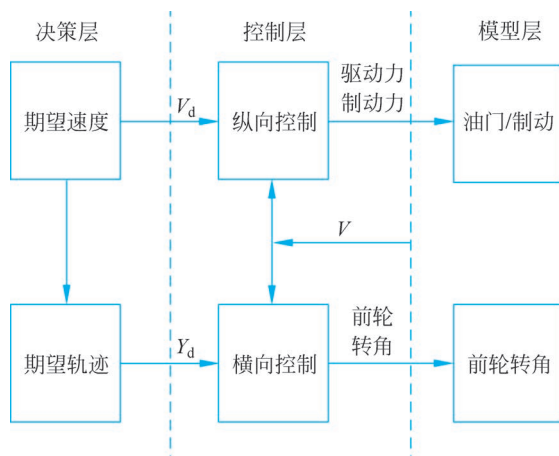


图 5-24 横纵向协同控制架构

横纵向协同控制架构各层的作用如下。

1. 决策层

根据视觉感知系统感知的汽车外界道路环境信息与汽车行驶状态信息,对汽车的行驶路径进行规划形成期望运动轨迹,并根据期望运动轨迹选择期望速度。

2. 控制层

基于决策层得到的期望路径与期望车速输入,经过控制系统的分析与运算得到理论的前轮转角输出、油门控制输出以及制动器控制输出信号,作用于自动驾驶汽车,保证自动驾驶汽车跟踪期望速度沿着期望轨迹行驶。

3. 模型层

对于横纵向运动综合控制系统,运用数学知识建立整车横纵向数学模型。

由横纵向协同控制构架可以看到,自动驾驶汽车的纵向速度既是横向控制器的状态量输入,又是纵向控制器的状态量输入,横向控制系统的前轮转角与车速有关,纵向控制系统的模糊控制器速度偏差输入与加速度偏差输入和车速有关,汽车的纵向车速成为连接横向控制系统与纵向控制系统的关键点。

关于前馈控制和反馈控制系统,本书不再赘述。

5.10 云计算

云计算是一种通过互联网提供计算资源和数据存储的服务模式,用户可以根据需要远程访问软件、存储空间和计算能力,而无需拥有和维护实际的计算基础设施。

5.10.1 云计算概述

云计算(Cloud Computing)是基于互联网的相关服务的增加、使用和交付模式,通常涉及通过互联网提供动态易扩展且经常是虚拟化的资源。

云是网络、互联网的一种比喻说法。因此,云计算甚至可以让用户体验每秒 10 万亿次的运算能力,拥有这么强大的计算能力,可以模拟核爆炸、预测气候变化和 market 发展趋势。用户通过计算机、笔记本电脑、手机等方式接入数据中心,按自己的需求进行运算。

美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)定义:云计算是一种按使用量付费的模式,这种模式提供可用的、便捷的、按需的网络访问,进入可配置的计算资源共享池(资源包括网络、服务器、存储、应用软件、服务),这些资源能够被快速提供,只需投入很少的管理工作,或服务供应商进行很少的交互。

云计算是继 20 世纪 80 年代大型计算机到客户端云计算-服务器的大转变之后的又一次巨变。

云计算是分布式计算(Distributed Computing)、并行计算(Parallel Computing)、效用计算(Utility Computing)、网络存储(Network Storage)、虚拟化(Virtualization)、负载均衡(Load Balance)、热备份冗余(High Available)等传统计算机和网络技术发展融合的产物。



第 16 集
微课视频

5.10.2 云计算的基本特点

云计算通过使计算分布在大量的分布式计算机上,而非本地计算机或远程服务器中,使企业数据中心的运行与互联网更相似。这使得企业能够将资源切换到需要的应用上,根据需求访问计算机和存储系统。好比是从古老的单台发电机模式转向了电厂集中供电的模式。云计算使得计算能力也可以作为一种商品进行流通,就像煤气、水电一样,取用方便,费用低廉。最大的不同在于,云计算是通过互联网进行传输的。

云计算具有以下特点。

(1) 超大规模。“云”具有相当的规模,Google 云计算已经拥有 100 多万台服务器,Amazon、IBM、微软、Yahoo 等的“云”均拥有几十万台服务器。企业私有云一般拥有数百上千台服务器。“云”能赋予用户前所未有的计算能力。

(2) 虚拟化。云计算支持用户在任意位置、使用各种终端获取应用服务。所请求的资源来自“云”,而不是固定的有形的实体。应用在“云”中某处运行,但实际上用户无须了解也不用担心应用运行的具体位置。只需要一台笔记本电脑或一个手机,就可以通过网络服务实现我们需要的一切,甚至包括超级计算这样的任务。

(3) 高可靠性。“云”使用了数据多副本容错、计算节点同构可互换等措施保障服务的

高可靠性,使用云计算比使用本地计算机可靠。

(4) 通用性。云计算不针对特定的应用,在“云”的支撑下可以构造出千变万化的应用,同一个“云”可以同时支撑不同的应用运行。

(5) 高可扩展性。“云”的规模可以动态伸缩,满足应用和用户规模增长的需要。

(6) 按需服务。“云”是一个庞大的资源池,按需购买,像自来水、电、燃气那样计费。

云计算可以彻底改变人们未来的生活,但同时也要重视环境问题,这样才能真正为人类进步作贡献,而不是简单的技术提升。

5.10.3 云计算的总体架构

云计算推动了 IT 领域自 20 世纪 50 年代以来的三次变革浪潮,对各行各业数据中心基础设施的架构演进及上层应用与中间件层软件的运营管理模式产生了深远的影响。在云计算发展早期,Google、Amazon、Meta 等互联网巨头们在其超大规模 Web 搜索、电子商务及社交等创新应用的牵引下,率先提炼出了云计算的技术和商业架构理念,并树立了云计算参考架构的标杆与典范。但在那个时期,多数行业与企业 IT 的数据中心仍然采用传统的以硬件资源为中心的架构,即便是已进行了部分云化的探索,也多为新建的孤岛式虚拟化资源池(如基于 VMware 的服务器资源整合),或者仅仅对原有软件系统的服务器进行虚拟化整合改造。

从架构视角来看,云计算正在推动全球 IT 的格局进入新一轮“分久必合,合久必分”的历史演进周期,通过分离、回归、融合的过程从 3 个层面进行表述,企业 IT 架构的云化演进路径如图 5-25 所示。

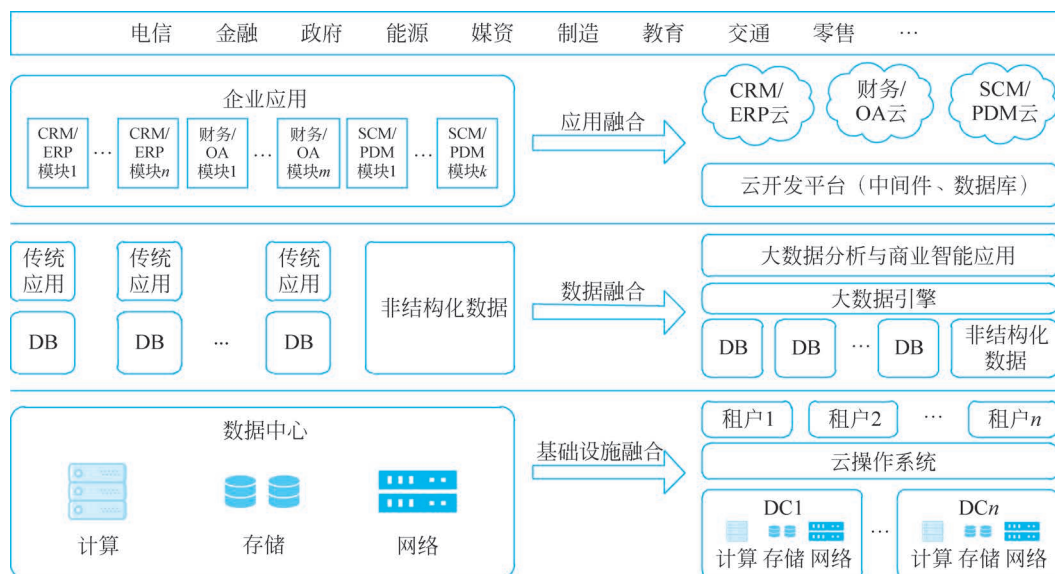


图 5-25 企业 IT 架构的云化演进路径

5.10.4 云计算的总体分层架构

云计算架构应用上下文的相关角色包括云租户/服务消费者、云应用开发者、云服务运营者提供者、云设备提供者。

1. 云租户/云服务消费者

云租户是指这样一类组织、个人或 IT 系统,该组织/个人/IT 系统消费由云计算平台提供的业务服务(如请求使用云资源配额、改变指配给虚拟机的 CPU 处理能力、增大 Web 网站的并发处理能力等)组成。该云租户/云业务消费者可能会因其与云业务的交互而被计费。

云租户也可被看作一个云租户/业务消费者组织的授权代表。

2. 云应用开发者

云应用开发者负责开发和创建一个云计算增值业务应用,该增值业务应可以托管在云平台运营管理者环境内运行,或者由云租户(服务消费者)运行。典型场景下云应用开发者根据云平台的 API 能力进行增值业务的开发,但也可能调用由 BSS 和 OSS 系统付费开放的云管理 API 功能。

云业务开发者全程负责云增值业务的设计、部署并维护运行时主体功能及其相关的管理层。

3. 云服务运营者/提供者

云服务运营者/提供者承担着向云租户/服务消费者提供云服务的任务。云服务运营者/提供者的定义来源于其对 OSS/BSS 管理子系统拥有直接的或者虚拟的运营权。同时,作为云服务运营者以及云服务消费者的个体,也可以成为其他对外转售云服务提供者的合作伙伴,消费其云服务,并在此基础上加入增值,并将增值后的云服务对外提供。

4. 云设备提供者

云设备提供者提供各种物理设备,包括服务器、存储设备、网络设备、一体机设备,利用各种虚拟化平台,构筑成各种形式的云服务平台。这些云服务平台可能是某个地点的超大规模数据中心,也可能是由地理位置分布的区域数据中心组成的分布式云数据中心。

云设备提供者可能是云服务运营者/提供者,也可能就是一个纯粹的云设备提供者,将云设备租用给云服务运营者/提供者。

这里,特别强调云设备物理基础设施的提供者必须能够做到不与唯一的硬件设备厂家绑定。

云计算总体分层架构如图 5-26 所示。

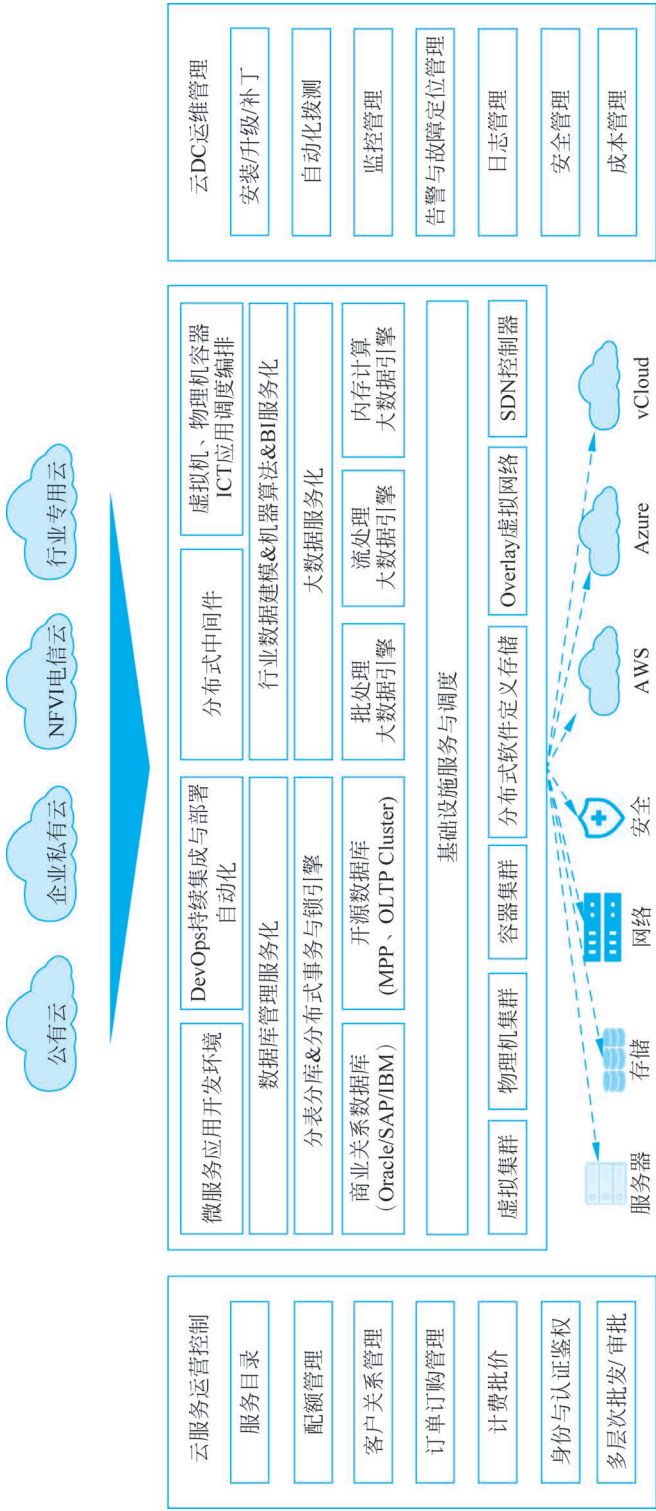


图 5-26 云计算总体分层架构

5.10.5 云计算的服务模式

根据现在最常用也是比较权威的美国国家标准与技术研究院(NIST)的定义,云计算主要分为 3 种服务模式,并且这 3 种服务模式主要是从用户体验的角度出发的。

云计算的服务模式和类型如图 5-27 所示,这 3 种服务模式分别是软件即服务 (Software as a Service,SaaS)、平台即服务 (Platform as a Service,PaaS)和基础设施即服务 (Infrastructure as a Service,IaaS)。

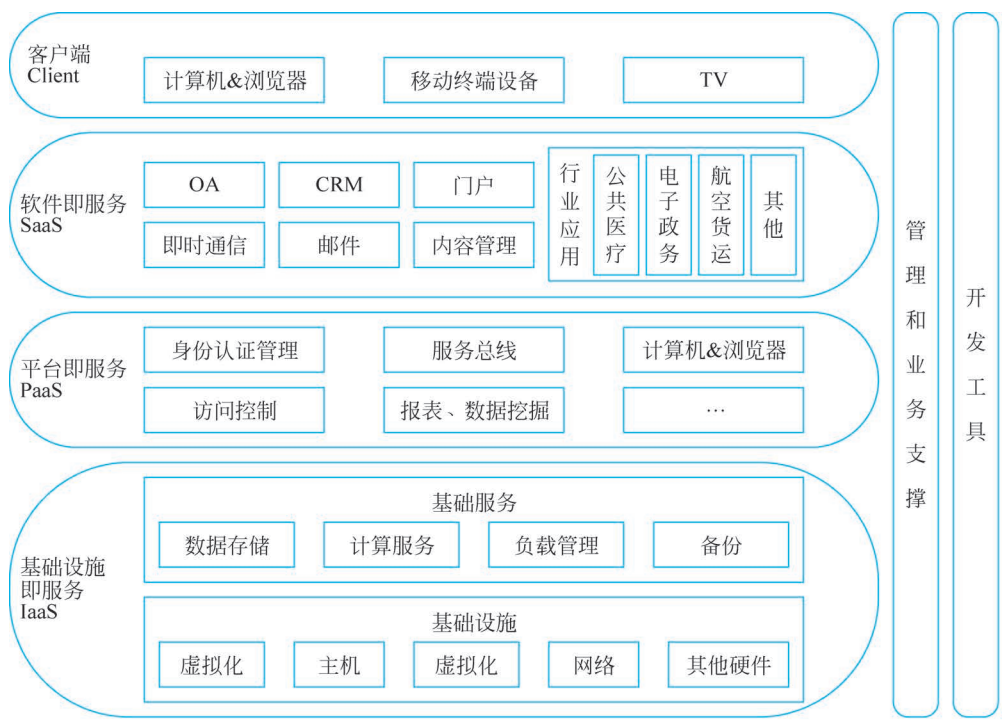


图 5-27 云计算的服务模式和类型

对于普通用户,面对的主要是 SaaS 服务模式,而且云计算服务最终的呈现形式绝大多数是 SaaS。

1. SaaS: 软件即服务

SaaS 是一种通过网络提供软件的模式,用户无须购买软件,而是向提供商租用基于 Web 的软件管理企业经营活动。相对于传统的软件,SaaS 解决方案有明显的优势,包括较低的前期成本、便于维护、快速展开使用、由服务提供商维护和管理软件,并且提供软件运行的硬件设施,用户只需拥有接入互联网的终端即可随时随地使用软件。SaaS 软件被认为是云计算的典型应用之一。

SaaS 主要有以下功能。

- (1) 随时随地访问。在任何时候、任何地点,只要接上网络,用户就能访问这个 SaaS 服务。
- (2) 支持公开协议。通过支持公开协议(如 HTML 4、HTML 5),能够方便用户使用。
- (3) 安全保障。SaaS 供应商需要提供一定的安全机制,不仅要使存储在云端的用户

数据处于绝对安全的境地,而且也要在客户端实施一定的安全机制(如 HTTPS)保护用户。

(4) 多租户。通过多租户机制,不仅能更经济地支持庞大的用户规模,而且能提供一定的可指定性,以满足用户的特殊需求。

用户消费的服务完全是从网页(如 Netflix、MOG、Google Apps、Box.net、Dropbox 或苹果公司的 iCloud)进入这些分类。

一些用作商务的 SaaS 应用包括 Citrix 公司的 GoToMeeting、Cisco 公司的 WebEx,以及 Salesforce 公司的 CRM、ADP 等。

2. PaaS: 平台即服务

将服务器平台或开发环境作为服务进行提供就是平台即服务(PaaS)。所谓 PaaS,实际上是指将软件研发的平台作为一种服务,以 SaaS 的模式提交给用户。因此,PaaS 也是 SaaS 模式的一种应用。但是,PaaS 的出现可以加快 SaaS 的发展,尤其是加快 SaaS 应用的开发速度。

在云计算应用的大环境下,PaaS 具有以下优势。

(1) 开发简单。因为开发人员能限定应用自带的操作系统、中间件和数据库等软件的版本,如 SLES 11、WAS 7 和 DB 29.7 等这样将非常有效地缩小开发和测试的范围,从而极大地降低开发测试的难度和复杂度。

(2) 部署简单。首先,如果使用虚拟器件方式部署能将本来需要几天的工作缩短到几分钟,能将本来几十步的操作精简到轻轻一击鼠标;其次,能非常简单地应用部署或者迁移到公有云上,以应对突发情况。

(3) 维护简单。因为整个虚拟器件都是来自同一个独立软件开发商(Independent Software Vendors, ISV),所以任何软件的升级和技术支持都只要和一个 ISV 联系就可以了,不仅避免了常见的沟通不当现象,而且简化了相关流程。

PaaS 具有以下主要功能。

(1) 良好的开发环境。通过 SDK 和 IDE 等工具让用户能在本地方便地进行应用的开发和测试。

(2) 丰富的服务。PaaS 平台会以 API 的形式将各种各样的服务提供给上层应用。

(3) 自动的资源调度。也就是可伸缩特性,它不仅能优化系统资源,而且能自动调整资源帮助运行于其上的应用更好地应对突发流量。

(4) 精细的管理和监控。通过 PaaS 能够提供对应用层的管理和监控,如能够观察应用运行的情况和具体数值(如吞吐量和响应时间)更好地衡量应用的运行状态,还能够通过精确计量应用所消耗的资源更好地计费。

涉足 PaaS 市场的公司在网上提供了各种开发和分发应用的解决方案,如虚拟服务器和操作系统,既节省了用户在硬件上的费用,也让分散的工作室之间的合作变得更加容易。这些解决方案包括网页应用管理、应用设计、应用虚拟主机、存储、安全以及应用开发协作工具等。

一些大的 PaaS 提供商有 Google(App Engine)、微软(Azure)、Salesforce(Heroku)等。

3. IaaS: 基础设施即服务

IaaS 使消费者可以通过互联网从完善的计算机基础设施获得服务。基于互联网的服

务(如存储和数据库)是 IaaS 的一部分。在 IaaS 模式下,服务提供商将多台服务器组成的“云端”服务(包括内存、I/O 设备、存储和计算能力等)作为计量服务提供给用户。其优点是用户只需提供低成本硬件,按需租用相应的计算能力和存储能力即可。

IaaS 具有以下主要功能。

- (1) 资源抽象。使用资源抽象的方法,能更好地调度和管理物理资源。
- (2) 负载管理。通过负载管理,不仅使部署在基础设施上的应用能更好地应对突发情况,而且还能更好地利用系统资源。
- (3) 数据管理。对于云计算,数据的完整性可靠性和可管理性是对 IaaS 的基本要求。
- (4) 资源部署。也就是将整个资源从创建到使用的流程自动化。
- (5) 安全管理。IaaS 的安全管理的主要目标是保证基础设施和其提供的资源被合法地访问和使用。
- (6) 计费管理。通过细致的计费管理能使用户更灵活地使用资源。

过去如果用户想在办公室或公司的网站上运行一些企业应用,需要去买服务器或其他昂贵的硬件控制本地应用,让业务运行起来。但是使用 IaaS,用户可以将硬件外包到其他地方。涉足 IaaS 市场的公司会提供场外服务器、存储和网络硬件,用户可以租用,这样就节约了维护成本和办公场地并可以在任何时候利用这些硬件运行其应用。

一些大的 IaaS 提供商有亚马逊、微软、VMware、Rackspace 和 Red Hat。不过这些公司都有自己的专长,如亚马逊和微软提供的不只是 IaaS,还会将其计算能力出租给用户管理自己的网站。



第 17 集
微课视频

5.11 边缘计算

边缘计算是一种分布式计算框架,它将计算和数据存储带到网络的边缘,靠近数据源头,如物联网设备或本地计算机。这种方法旨在降低数据通信时延,提高数据处理速度,并减轻中央服务器或数据中心的负载。

1. 核心概念

- (1) 近源处理:边缘计算允许数据在产生的地方即时处理,而不需要先发送到远程数据中心。
- (2) 低延迟:由于减小了数据传输距离,边缘计算可以实现低延迟的数据处理,这对于实时应用至关重要。
- (3) 带宽节省:本地处理数据可以显著减少需要通过网络传输的数据量,节省带宽并减少网络拥塞。
- (4) 可扩展性:边缘计算提供了一种可扩展的方式处理日益增长的数据量,特别是来自物联网设备的数据。

2. 应用场景

- (1) 物联网(IoT):智能家居、工业互联网、智慧城市等 IoT 应用通常需要快速响应和数据隐私,边缘计算可以在这些场景下提供高效的服务。
- (2) 移动计算:移动设备和应用可以通过边缘计算获得更快的响应时间和更好地用户

体验。

(3) 内容分发: 边缘计算可以用于内容分发网络(Content Delivery Network, CDN), 将内容缓存到用户附近, 加速内容的加载。

(4) 远程监控: 在远程监控和控制系统中, 边缘计算可以实现即时的数据分析和决策, 提高系统的效率 and 安全性。

3. 云、边、端介绍

云计算、边缘计算和端点设备是构成现代计算生态系统的 3 个关键层面, 它们共同支撑起智能化服务和物联网(IoT)应用的基础架构。以下是对云、边、端三者的介绍。

1) 云(Cloud)

云计算是一种提供按需计算资源和服务的模型, 通常是通过数据中心实现的。用户无须管理物理服务器或运行自己的数据中心, 就可以获取存储、计算、数据库、网络、软件和分析等资源。云计算平台通常提供高度可扩展、可靠和安全的 service, 适用于处理大量数据和执行复杂的计算任务。

云的特点如下。

- (1) 高度集中化的资源。
- (2) 强大的计算和存储能力。
- (3) 全球访问和协作。
- (4) 按使用量付费的模式。

2) 边(Edge)

边缘计算是一种分布式计算架构, 旨在将计算任务、数据处理和服务带到离数据源更近的地方。边缘计算节点可以是物理服务器、网络交换机或其他专用设备, 它们位于用户和中心云数据中心之间的网络边缘位置。

边的特点如下。

- (1) 靠近数据源的计算能力。
- (2) 降低延迟, 快速响应。
- (3) 减少数据传输, 节省带宽。
- (4) 提高隐私和安全性。

3) 端(End)

端点设备是网络中的实际设备, 如智能手机、传感器、摄像头、车辆或任何其他生成数据的设备。这些设备是物联网的基础, 它们收集数据并可能执行一些基本的处理任务, 然后将数据发送到边缘计算节点或云端进行进一步分析和处理。

端的特点如下。

- (1) 数据生成和初步处理的源头。
- (2) 分布广泛, 数量庞大。
- (3) 通常具有有限的计算和存储能力。
- (4) 在智能设备和 IoT 应用中扮演关键角色。

4) 云、边、端的协同作用

云、边、端三者共同构成了一个多层次、分布式的计算架构。端点设备负责收集和初步处理数据, 边缘计算节点对数据进行进一步的实时处理和分析, 而云计算提供中心化的大规模

模数据处理、存储和高级分析服务。

这种分层架构允许数据在最合适的位置进行处理,既优化了性能,又提高了效率。例如,一些对延迟敏感的任务可以在边缘节点处理,而不需要发送到远程云端。同时,云计算可以用于存储大量历史数据,进行深度分析和机器学习模型训练等任务。

随着 5G 和 IoT 技术的发展,云、边、端的协同将变得更加重要,以支持更加智能化和自动化的应用场景。

5.11.1 边缘计算简介

对于边缘计算(Edge Computing)的定义,目前还没有统一的结论。

太平洋西北国家实验室(PNNL)将边缘计算定义为“一种将应用、数据和服务从中心节点向网络边缘拓展的方法,可以在数据源端进行分析和知识生成”。

ISO/IEC JTC1/SC38 对边缘计算给出的定义为“一种将主要处理和数据存储放在网络的边缘节点的分布式计算形式”。

边缘计算产业联盟对边缘计算的定义为“在靠近物或数据源头的网络边缘侧,融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台,就近提供边缘智能服务,满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。作为连接物理和数字世界的桥梁,实现智能资产、智能网关、智能系统和智能服务”。

边缘计算的不同定义表述虽然各有差异,但内容实质已达共识:在靠近数据源的网络边缘某处就近提供服务。

综合以上定义,边缘计算是指数据或任务能够在靠近数据源头的网络边缘侧进行计算和执行计算的一种新型服务模型,允许在网络边缘存储和处理数据,和云计算协作,在数据源端提供智能服务。网络边缘侧可以理解为从数据源到云计算中心之间的任意功能实体,这些实体搭载着融合网络、计算、存储、应用核心能力的边缘计算平台。

边缘计算采用一种分散式运算的架构,将之前由网络中心节点处理的应用程序、数据资料与服务的运算交由网络逻辑上的边缘节点处理。边缘计算将大型服务进行分解,切割成更小和更容易管理的部分,把原本完全由中心节点处理的大型服务分散到边缘节点。而边缘节点更接近用户终端装置,这一特点显著提高了数据处理速度与传输速率,进一步降低时延。

边缘计算作为云计算模型的扩展和延伸,直面目前集中式云计算模型的发展短板,具有缓解网络带宽压力、增强服务响应能力、保护隐私数据等特征;同时,边缘计算在新型的业务应用中的确起到了显著的提升、改进作用。

在智慧城市、智能制造、智能交通、智能家居、智能零售以及视频监控系统等领域,边缘计算都在扮演着先进的改革者形象,推动传统的“云到端”演进为“云-边-端”的新兴计算架构。这种新兴计算架构无疑更匹配今天万物互联时代各种类型的智能业务。

对于物联网,边缘计算技术取得突破,意味着许多控制将通过本地设备实现而无须交由云端,处理过程将在本地边缘计算层完成。这无疑将大大提升处理效率,减轻云端的负荷。由于更加靠近用户,还可为用户提供更快的响应,将需求在边缘端解决。

在国外,以思科为代表的网络公司以雾计算为主。思科已经不再成为工业互联网联盟的创立成员,但却集中精力主导 OpenFog 开放雾联盟。

无论是云、雾还是边缘计算,本身只是实现物联网、智能制造等所需要计算技术的一种方法或模式。严格地讲,雾计算和边缘计算本身并没有本质的区别,都是在接近于现场应用端提供的计算。就其本质而言,都是相对于云计算而言的。

全球智能手机的快速发展,推动了移动终端和“边缘计算”的发展。而万物互联、万物感知的智能社会,则是跟物联网发展相伴而生,边缘计算系统也因此应运而生。

在国内,边缘计算联盟正在努力推动三种技术的融合,也就是 OICT 的融合,即运营(Operational)、信息(Information)、通信技术(Communication Technology)。而其计算对象,则主要定义了以下 4 个领域。

(1) 设备域。设备域是边缘计算的前沿,直接连接传感器、执行器等设备,进行数据采集和初步处理。它包含简单的 IoT 设备和具备计算能力的边缘节点,负责实时处理数据,减少传输延迟和带宽压力。与传统自动化相比,设备域更侧重数据分析和智能化应用,如设备预测性维护、环境监测等,是实现 OT、IT、CT 融合的关键。

(2) 网络域。在传输层面,直接的末端 IoT 数据与来自自动化产线的数据的传输方式、机制、协议都会不同。因此,这里要解决传输的数据标准问题。当然,在 OPC UA 架构下可以直接访问底层自动化数据,但是对于 Web 数据的交互,这里会存在 IT 与 OT 之间的协调问题,尽管有一些领先的自动化企业已经提供了针对 Web 方式数据传输的机制,大部分现场的数据仍然存在这些问题。

(3) 数据域。数据传输后的数据存储、格式等这些数据域需要解决的问题,也包括数据的查询与数据交互的机制和策略问题,都是在这个领域里需要考虑的问题。

(4) 应用域。这可能是最难以解决的问题,针对这一领域的应用模型尚未有较多的实际应用。

边缘计算联盟对于边缘计算的参考架构的定义,包含了设备、网络、数据与应用四域,平台提供者主要提供在网络互联(包括总线)、计算能力、数据存储与应用方面的软硬件基础设施。

自动化事实上是以“控制”为核心。控制是基于“信号”的,而“计算”则是基于数据进行的,更多地是指“策略”“规划”。因此,它更多地聚焦于“调度、优化、路径”。就像对全国高铁进行调度的系统一样,每增加或减少一个车次都会引发调度系统的调整,它是基于时间和节点的运筹与规划问题。边缘计算在工业领域的应用更多是这类“计算”。

边缘计算/雾计算要落地,尤其是在工业中,“应用”才是最核心的问题。所谓的 IT 与 OT 的融合,更强调在 OT 侧的应用,即运营的系统所要实现的目标。

在工业领域,边缘应用场景包括能源分析、物流规划、工艺优化分析等。就生产任务分配而言,需根据生产订单为生产进行最优的设备排产排程,这是 APS 或广义 MES 的基本任务单元,需要大量计算。这些计算是靠具体 MES 厂商的软件平台,还是边缘计算平台——基于 Web 技术构建的分析平台,在未来并不会存在太多差别。从某种意义上说,MES 本身是一种传统的架构,而其核心既可以在专用的软件系统,也可以存在于云、雾或边缘侧。

5.11.2 边缘计算的模型

边缘计算是在高带宽、时间敏感型、物联网集成这个背景下发展起来的技术,边缘(Edge)这个概念最早是由 ABB、B&R、Schneider、KUKA 等自动化/机器人厂商所提出的,

其本意是涵盖那些“贴近用户与数据源的 IT 资源”。这是属于从传统自动化厂商向 IT 厂商延伸的一种设计。

20 世纪 90 年代, Akamai 公司首次定义了内容分发网络(CDN), 这一事件被视为边缘计算的最早起源。在 CDN 的概念中, 提出在终端用户附近设立传输节点, 这些节点被用于存储缓存的静态数据, 如图像和视频等。

2014 年, 欧洲电信标准协会(ETSI)成立移动边缘计算规范工作组, 推动边缘计算标准化, 旨在为实现计算及存储资源的弹性利用, 将云计算平台从移动核心网络内部迁移到移动接入边缘。

ETSI 在 2016 年提出把移动边缘计算的概念扩展为多接入边缘计算(Multi-access Edge Computing, MEC), 将边缘计算从电信蜂窝网络进一步延伸至其他无线接入网络, 如 Wi-Fi。

自此, MEC 成为一个可以运行在移动网络边缘的执行特定任务计算的云服务器。在计算模型的演进过程中, 边缘计算紧随面向数据的计算模型的发展。数据规模的不断扩大与人们对数据处理性能、能耗等方面的高要求正成为日益突出的难题。

为了解决这一问题, 在边缘计算产生之前, 学者们在解决面向数据传输、计算和存储过程的计算负载和数据传输带宽的问题中, 已经开始探索如何在靠近数据的边缘端增加数据处理功能, 即开展由计算中心处理的计算任务向网络边缘迁移的相关研究, 其中典型的模型包括分布式数据库模型、P2P(Peer to Peer)模型、CDN 模型、移动边缘计算模型、雾计算模型。

1. 分布式数据库模型

分布式数据库系统通常由许多较小的计算机组成, 这些计算机可以被单独放置在不同的地点。每台计算机不仅可以存储数据库管理系统的完整副本或部分副本, 还可以具有自己的局部数据库。通过网络将位于不同地点的多台计算机互相连接, 共同组成一个具有完整且全局的、逻辑上集中、物理上分布的大型数据库系统。分布式数据库由一组数据构成, 这组数据分布在不同的计算机上, 计算机可以成为具有独立处理数据管理能力的网络节点, 这些节点执行局部应用, 称为场地自治。同时, 通过网络通信子系统, 每个节点也能执行全局应用。

在集中式数据库系统计算基础上发展起来的分布式数据库系统具有以下特性。

1) 数据独立性

集中式数据库系统中的数据独立性包括数据逻辑独立性和数据物理独立性两方面, 即用户程序与数据全局逻辑结构和数据存储结构无关。在分布式数据库系统中还包括数据分布独立性, 即数据分布透明性。数据分布透明性是指用户不必关心以下数据问题: 数据的逻辑分片、数据物理位置分布的细节、数据重复副本(冗余数据)一致性问题以及局部场地上数据库支持哪种数据模型。

2) 数据共享性

数据库是多个用户的共享资源, 为了保证数据库的安全性和完整性, 在集中式数据库系统中, 对共享数据库采取集中控制, 同时配有数据库管理员负责监督, 维护系统正常运行。在分布式数据库系统中, 数据的共享有局部共享和全局共享两个层次。局部共享是指在局部数据库中存储局部场地各用户常用的共享数据。全局共享是指在分布式数据库系统的各

个场地也同时存储其他场地的用户常用共享数据,用以支持系统全局应用。因此,对应的控制机构也具有集中和自治两个层次。

3) 适当增大数据冗余度

尽量减少数据冗余度是集中式数据库系统的目标之一,这是因为冗余数据不仅浪费存储空间,而且容易造成各数据副本之间的不一致性。集中式数据库系统不得不付出一定的维护代价降低数据冗余度,以保证数据一致性和实现数据共享。相反,在分布式数据系统中却希望适当增大数据冗余度,即将同一数据的多个副本存储在不同的场地。适当增大数据冗余度不仅可以提升分布式数据系统的可靠性、可用性,即当某一场地出现故障时,系统可以对另一场地上的相同副本进行操作,以避免因为一处发生故障而造成整个系统的瘫痪。

4) 数据全局一致性、可串行性和可恢复性

在分布式数据库系统中,各局部数据库不仅要达到集中式数据库的一致性、并发事务的可串行性和可恢复性要求,还要保证达到数据库的全局一致性、全局并发事务的可串行性和系统的全局可恢复性要求。

2. P2P 模型

对等网络(P2P)是一种新兴的通信模式,也称为对等连接或工作组。对等网络定义每个参与者都可以发起一个通信对话,对等节点所有参与者具有同等的能力。在对等网络中的每台计算机具有相同的功能,没有主从之分,没有专用服务器,也没有专用工作站,任何一台计算机既可以作为服务器,又可以作为工作站。

3. CDN 模型

CDN 提出在现有的 Internet 中添加一层新的网络架构,更接近用户,称为网络边缘。网站的内容被发布到最接近用户的网络“边缘”,用户可以就近取得所需的内容,从而缓解网络拥塞状况,提高用户访问网站的响应速度,从技术上全面解决由于网络带宽小、用户访问量大、网点分布不均等原因造成的网站的响应速度慢的问题。

从狭义角度讲,CDN 以一种新型的网络构建方式,在传统的 IP 网中作为特别优化的网络覆盖层用于大宽带需求的内容分发和存储。

从广义角度讲,CDN 是基于质量与秩序的网络服务模式的代表。

近年来,主动内容分发网络(Active Content Distribution Networks, ACDN)以一种新的体系结构模型被研究人员提出。ACDN 改进了传统的 CDN,根据需要将应用在各服务器之间进行复制和迁移,成功地帮助内容提供商避免了一些新算法的研究设计。

4. 移动边缘计算模型

移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)通过将传统电信蜂窝网络和互联网业务深度融合,大大降低了移动业务交付的端到端时延,进而提升用户体验,无线网络的内在能力被成功发掘。这一概念不仅给电信运营商的运作模式带来全新变革,而且促进新型的产业链及网络生态的建立。

通常的移动边缘终端设备被认为不具备计算能力,于是人们提出在移动边缘终端设备和云计算中心之间建立边缘服务器,将终端数据的计算任务放在边缘服务器上完成。而在移动边缘计算模型中,终端设备是具有较强的计算能力的。由此可见,移动边缘计算模型是边缘计算模型的一种,非常类似边缘计算服务器的架构和层次。

5. 雾计算模型

雾计算(Fog Computing)是由哥伦比亚大学的斯特尔佛教授于2011年首次提出的,旨在利用“雾”阻挡黑客入侵。2012年,雾计算被思科公司定义为一种高度虚拟化的计算平台,中心思想是将云计算中心任务迁移到网络边缘设备上。

雾计算作为对云计算的补充,提供在终端设备和传统云计算中心之间的计算、存储、网络服务。

由于概念上的相似性,雾计算和边缘计算在很多场合被用来表示相同或相似的一个意思。两者的主要区分是雾计算关注后端分布式共享资源的管理,而边缘计算在强调边缘基础设施和边缘设备的同时,更关心边缘智能的设计和实现。

从生态模式的角度看,边缘计算将是一种新的生态模式,它将网络、计算、存储、应用和智能等5类资源汇聚在网络边缘用以提升网络服务性能、开放网络控制能力,进而促进类似于移动互联网的新模式、新生态的出现。

边缘计算的技术理念可以适用于固定互联网、移动通信网、消费物联网、工业互联网等不同场景,形成各自的网络架构增强,与特定网络接入方式无关。

随着网络覆盖和带宽的扩大、资费的下降,万物互联触发了新的数据生产模式和消费模式。同时,工业互联网蓬勃兴起,实现IT与OT的深度融合,迫切需要在工厂内网络边缘处加强网络、数据、安全体系建设。

5.11.3 边缘计算的基本结构和特点

边缘计算通过在网络的边缘,即接近数据源的位置进行数据的处理和分析,从而提供更快的响应时间和更加个性化的服务。

1. 边缘计算的基本结构

边缘计算中的“边缘”是一个相对的概念,指从数据源到云计算中心数据路径之间的任意计算资源和网络资源。边缘计算允许终端设备将存储和计算任务迁移到网络边缘节点中,如基站(Base Station,BS)、无线接入点(Wireless Access Point,WAP)、边缘服务器等,在满足终端设备计算能力扩展需求的同时又能够有效地节约计算任务在云服务器和终端设备之间的传输链路资源。

基于“云-边-端”协同的边缘计算基本架构,由4层功能结构组成,即核心基础设施、边缘计算中心、边缘网络和边缘设备。

核心基础设施提供核心网络接入(如互联网、移动核心网络)和用于移动边缘设备的集中式云计算服务和管理功能。其中,核心网络主要包括互联网络、移动核心网络、集中式云服务和数据中心等。而云计算核心服务通常包括基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)3种服务模式。通过引入边缘计算架构,多个云服务提供商可同时为用户提供集中式的存储和计算服务,实现多层次的异构服务器部署,应对由集中式云业务大规模计算迁移带来的挑战,同时还能够为不同地理位置的用户提供实时服务和移动代理。

互联网厂商也把边缘计算中心称为边缘云,主要提供计算、存储、网络转发资源,是整个“云-边-端”协同架构中的核心组件之一。

边缘计算中心可搭载多租户虚拟化基础设施,从第三方服务提供商到终端用户以及基

基础设施提供商,自身都可以使用边缘中心提供的虚拟化服务。多个边缘中心按分布式拓扑部署,各边缘中心在自主运行的同时又相互协作,并且和云端连接进行必要的交互。

边缘网络通过融合多种通信网络实现物联网设备和传感器的互联。从无线网络到移动中心网络再到互联网络边缘计算设施,通过无线网络,数据中心网络和互联网实现了边缘设备、边缘服务器、核心设施之间的连接。

边缘设备不只扮演了数据消费者的角色,而且作为数据生产者参与到了边缘计算结构所有的4个功能结构层中。

2. 边缘计算的基本特点

边缘计算具有以下基本特点。

(1) 连接性。边缘计算是以连接性为基础的。由于所连接物理对象的多样性以及应用场景的多样性,要求边缘计算具备丰富的连接功能,如各种网络接口、网络协议、网络拓扑、网络部署与配置、网络管理与维护。此外,在考虑与现有各种工业总线的互联互通的同时,连接性需要充分借鉴吸收网络领域先进的研究成果,如TSN、SDN、NFV、Network as a Service、WLAN、NB-IoT和5G等。

(2) 数据入口。作为物理世界到数字世界的桥梁,边缘计算是数据的第一入口。边缘计算通过拥有大量、实时、完整的数据,可基于数据全生命周期进行管理与价值创造,实现更好地支撑预测性维护、资产效率与管理等创新应用;另外,作为数据第一入口,边缘计算也面临数据实时性、不确定性、多样性等挑战。

(3) 约束性。边缘计算产品需要适配工业现场相对恶劣的工作条件与运行环境,如防电磁、防尘、防爆、抗振动、抗电流或电压波动等。在工业互联场景下,对边缘计算设备的功耗、成本、空间也有较高的要求。边缘计算产品需要考虑通过软硬件集成与优化,以适配各种条件约束,支撑行业数字化多样性场景。

(4) 分布性。边缘计算实际部署天然具备分布式特征。这要求边缘计算支持分布式计算与存储、实现外布式资源的动态调度与统一管理,支撑外布式智能,具备外布式安全等能力。

(5) 融合性。OT与IT的融合是行业数字化转型的重要基础,边缘计算作为OICT融合与协同的关键承载,需要支持在连接、数据、管理、控制、应用和安全等方面的协同。

(6) 邻近性。由于边缘计算的部署非常靠近信息源,因此边缘计算特别适用于捕获和分析大数据中的关键信息。此外,边缘计算还可以直接访问设备,容易直接衍生特定的商业应用。

(7) 低时延。由于移动边缘技术服务靠近终端设备或直接在终端设备上运行,时延被大大降低。这使得反馈更加快速,从而改善了用户体验,减少了网络在其他部分中可能发生的拥塞。

(8) 大带宽。由于边缘计算靠近信息源,可以在本地进行简单的数据处理,不必将所有数据或信息都上传至云端,这将使得网络传输压力下降,减少网络堵塞,网络速率也因此大大增加。

(9) 位置认知。当网络边缘是无线网络的一部分时,无论是Wi-Fi还是蜂窝,本地服务都可以利用相对较少的信息确定每个连接设备的具体位置。

5.11.4 边缘计算软件架构

在“云-边-端”的系统架构中,针对业务类型和所处边缘位置的不同,边缘计算硬件选型设计往往也会不同。例如,边缘用户端节点设备采用低成本、低功耗的 ARM 或英特尔的 Atom 处理器,并搭载诸如 Movidius 或 FPGA 异构计算硬件进行特定计算加速;以 SD-WAN 为代表的边缘网络设备衍生自传统的路由器网关形态,采用 ARM 或 Intel Xeon-D 处理器;边缘基站服务器采用 Intel 至强系列处理器。相对硬件架构设计,系统软件架构却大同小异,主要包括与设备无关的微服务、容器及虚拟化技术、云端无服务化套件等。

以上技术应用统一了云端和边缘的服务运行环境,减少了因硬件基础设施的差异而带来的部署及运维问题。而在这些技术背后依靠的是云原生软件架构在边缘侧的演化。

边缘计算软件架构如图 5-28 所示。

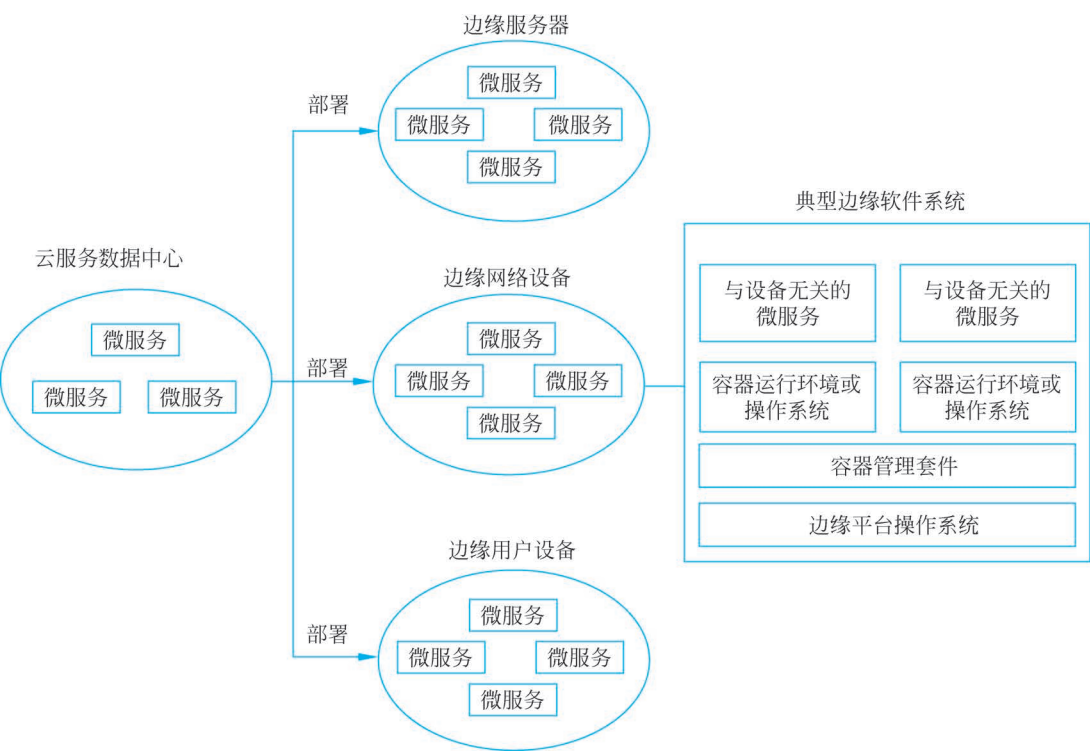


图 5-28 边缘计算软件架构

5.12 APAX-5580/AMAX-5580 边缘智能控制器

APAX-5580/AMAX-5580 是 Advantech(研华科技)推出的一款边缘智能控制器,它结合了工业自动化控制和信息技术。这款控制器通常用于工业物联网(IIoT)应用,提供了强大的数据处理能力、网络连接选项和可扩展性,以满足现代工业环境中对于数据集成、边缘计算和自动化控制的需求。

APAX-5580/AMAX-5580 的主要特点如下。

(1) 强大的计算性能。这些控制器通常配备了高性能的处理器,如 Intel Core i 或 Celeron 处理器,能够处理复杂的计算任务和支持高级的数据分析。

(2) 模块化设计。它们可能具有模块化的设计,允许用户根据需要添加或更换 I/O 模块,实现高度的定制化和灵活性。

(3) 工业级构建。设计用于在恶劣的工业环境中运行,具备耐用的外壳和适应宽温度范围的能力。

(4) 丰富的连接性。提供多种网络接口,如以太网、串行通信和 USB 端口,以及无线连接选项,包括 Wi-Fi 和蓝牙。

(5) 实时控制。支持实时以太网协议,如 PROFINET、EtherCAT 或 EtherNet/IP 等,确保与其他工业设备的高效通信。

(6) 软件支持。通常与 Advantech 自家的软件平台兼容,如 WebAccess/SCADA 和 WebAccess/HMI,以便实现数据可视化和远程管理。

(7) 安全性与可靠性。可能包含安全功能,如可信平台模块(Trusted Platform Module, TPM)和硬件加速的加密功能,确保数据安全和系统的可靠性。

(8) 适用于多种应用。适合各种工业应用,如自动化制造、工艺控制、数据采集和远程监控。

5.12.1 APAX-5580 的边缘智能控制器

APAX-5580 是 Advantech 公司生产的一款功能强大的边缘智能控制器,采用 Intel Core i7/i3/赛扬 CPU。它是与 APAX I/O 模块相结合的理想开放式控制平台,通过不同接口可完成灵活的 I/O 数据采集,实时 I/O 控制以及网络通信,支持冗余电源输入以实现鲁棒的电源系统。它还内置了一个用于无线通信和 Advantech iDoor 技术的标准 mini PCIe 插槽。APAX-5580 是数据网关、集中器和数据服务器应用程序的最佳解决方案,它与 I/O 的无缝集成可以节省成本并完成各种自动化项目。APAX-5580 边缘智能控制器外形如图 5-29 所示。



图 5-29 APAX-5580 边缘智能控制器外形

5.12.2 AMAX-5580 的边缘智能控制器

AMAX-5580 是 APAX-5580 的升级版,采用 Intel Core i7/i5/赛扬 CPU。它是与 AMAX-5000 系列 EtherCAT 工业以太网插片 I/O 模块相结合的理想开放式控制平台,通

过不同接口可完成灵活的 I/O 数据采集,实时 I/O 控制以及网络通信。AMAX-5580 边缘智能控制器外形如图 5-30 所示。



图 5-30 AMAX-5580 边缘智能控制器外形

5.12.3 APAX-5580/AMAX-5580 边缘智能与 I/O 一体化控制器 主要特点

1. 嵌入式计算平台

- (1) Intel 第 4 代 Haswell 架构 Celeron M, Core i3&i7 高性能 CPU。
- (2) 电源输入和 UPS 电源供电。
- (3) 内嵌的工业级固态硬盘 mSATA。
- (4) 适合工业控制柜导轨式安装。

2. 模块化 I/O 数据采集与通信接口

- (1) 模块化本地 I/O,可支持 768 点本地 I/O 及更多的远程 I/O。
- (2) 最多可扩展 24 个串口(RS-232/422/485)。
- (3) 支持 iDoor 现场总线(EtherCAT、CANopen 和 PROFINET)。

3. 开放的操作系统支持

- (1) 基于 Windows & Linux。
- (2) 支持 CODESYS RTE 实时控制系统(50 μ s)。
- (3) 远程管理与云端服务。
- (4) 可无缝连接数据库。
- (5) 整合现场总线。
- (6) 集成 SUSI 设备管理。

4. 开放式架构集成工控专用软件

- (1) IEC-61131-3 CODESYS 软逻辑软件。
- (2) 支持高级语言编程开发工具。
- (3) 整合数据库与协议转换网关。
- (4) 整合物联网软件 WebAccess 连入云端。
- (5) 丰富的图形化界面集成 HMI/SCADA。
- (6) 相对湿度: 10%~95%RH, 40℃, 无冷凝。

5.12.4 APAX-5580/AMAX-5580 边缘智能控制器的优势

APAX-5580/AMAX-5580 边缘智能控制器具有以下优势。

- (1) 将逻辑控制、运动控制、协议转换、数据采集、组态软件、远程/无线传输的软硬件功能高度集成,提升多级系统信息交换速度,确保产线设备联动与信息系统交互快速响应。
- (2) 一件代替多件,降低产线控制基础硬件成本。
- (3) 开放架构不仅支持 OT 软件,也支持 IT 软件嵌入,快速解决生产信息孤岛。
- (4) 内部自带四大软件:PLC 编程、运动控制、组态软件 and 上云服务,缩短 IT 与 OT 工程师开发周期。

5.12.5 APAX-5580/AMAX-5580 的应用软件

1. CODESYS

CODESYS 是世界领先的基于 PC 的控制软件,支持 IEC 61131-3 和实时现场总线,如 EtherCAT、PROFINET、以太网/IP 和 Modbus。它将本地和远程可视化功能集成在一个软件中,可以缩短时间和降低成本。

2. WebAccess

WebAccess 作为 Advantech 物联网解决方案的核心,是 HMI 和 SCADA 软件基于 Web 浏览器的完整软件包。HMI 和 SCADA 的所有软件功能包括:动画图形显示、实时数据、控制、趋势、警报和日志,都可以在标准的 Web 浏览器中使用。WebAccess 是基于最新的互联网技术构建的。由于其开放的体系结构,在垂直领域的应用程序可以很容易地进行集成。

5.12.6 APAX-5580/AMAX-5580 的边缘智能控制器的应用

1. PLC/SCADA 正被边缘计算/网关+分布式 I/O 取代

控制系统的传统模式和未来模式的架构对比如图 5-31 所示。

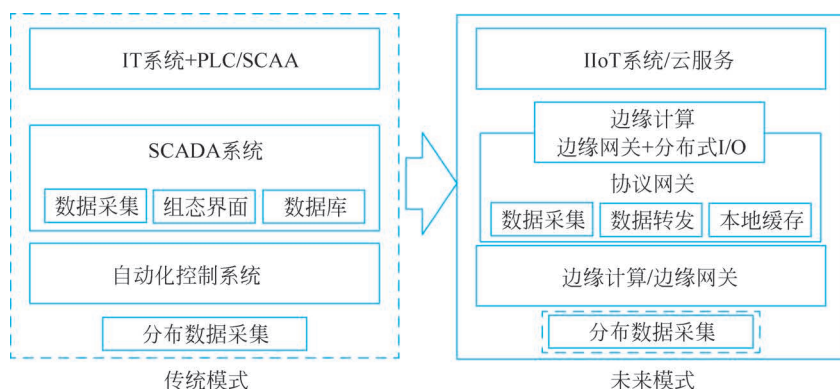


图 5-31 控制系统的传统模式和未来模式的架构

2. APAX-5580/AMAX-5580 边缘智能控制器优势整合 PLC 控制+设备联网

在智能制造浪潮下,自动化架构将从传统的 PLC 控制器向基于物联网的边缘智能控制器发展。

在 IoT 时代,远程 I/O 正在加速取代 PLC。

- (1) 边缘网关/边缘计算直接连接扩展远程 I/O。
- (2) 远程 I/O 的通道成本低于 PLC。
- (3) 系统整合无须 PLC 梯形图编程。

APAX-5580/AMAX-5580 边缘智能控制器在智慧城市(如电力与新能源、市政基础设施、城市地下综合管廊和建筑中央空调节能等)、智慧运维服务、整合 EFMS+ 优化控制、环境与能源 SCADA 和整合 IT 与 OT 等领域或行业得到广泛的应用。

APAX-5580 边缘智能控制器优势整合 PLC 控制+设备联网的应用实例如图 5-32 所示。



图 5-32 APAX-5580 边缘智能控制器优势整合 PLC 控制+设备联网的应用实例

3. 边缘网关和边缘计算在设备联网中的差异化价值

要根据设备联网的数据应用目标评估决定是采用边缘网关还是边缘计算方案。

(1) 边缘网关在设备联网中具备重要价值,包括本地数据的收集与秒级传输,确保系统高效快速响应。然而,其数据采集点数和采集频率较低(小于 100Hz),且存储容量有限,适合数据量少、实时性要求不高的场景。这要求数据管理与存储策略有精细的规划方法。

(2) 边缘计算在设备联网的价值为本地数据采集和分析,高速通信实时性,采集点数密度大,超大数据存储容量。

(3) 边缘网关处理设备的关键特征数据:小范围/小规模/小数据量/MQTT。

(4) 边缘计算数据采集/分析/诊断:大规模/大范围/大数据量/复杂行业协议转换。

(5) 边缘网关/设备联网最优方案组合为边缘网关(ARM)+低密度分布式 I/O(ADAM-4000/6000 系列产品)。

(6) 边缘计算/设备联网最优方案组合为边缘计算(x86)+高密度分布式 I/O(ADAM-5000/APAX-5000/AMAX-5000 I/O 系列产品)。

除上面介绍的 Advantech 公司的边缘智能控制器外,还有西门子公司的 SIMATIC S7 CPU 1500、霍尼韦尔公司的 Control Edge PLC HC900 和奥普图 OPTO 22 公司的 EPIC 等边缘智能控制器。