

边缘计算参考架构3.0

(2018年)

边缘计算产业联盟 (ECC) 与工业互联网产业联盟 (AII) 联合发布
2018年11月



目录CONTENTS

1 边缘计算产生的背景与需求.....01

- 1.1 行业智能时代已来01
- 1.2 行业智能2.0面临的挑战03
- 1.3 边缘计算能力的需求04
- 1.4 边缘计算产业化当前进展.....06

2 边缘计算的概念与价值.....07

- 2.1 边缘计算概念.....07
- 2.2 基本特点和属性.....07
- 2.3 边缘计算CROSS功能07
- 2.4 边缘计算与云计算协同08

3 边缘计算参考架构.....09

- 3.1 模型驱动参考架构09
- 3.2 多视图呈现10
- 3.3 商业视图11
- 3.4 使用视图13
- 3.5 功能视图14
 - 3.5.1 基础资源15
 - 3.5.2 各领域功能模块.....16
 - 3.5.3 边缘管理18
 - 3.5.4 边缘服务19
- 3.6 部署视图23

4 ECC产业发展与商业实践.....25

- 4.1 ECC产业发展总体概况25
 - 4.1.1 ECC产业组织合作.....25
 - 4.1.2 ECC标准组织合作.....25
- 4.2 边缘计算的商业实践26

5 附录.....35

- 术语表.....35
- 参考文献.....36
- 缩略语表.....37

01 边缘计算产生的背景与需求

1.1 行业智能时代已来

全球已经掀起行业数字化转型的浪潮，数字化是基础，网络化是支撑，智能化是目标。通过对人、物、环境、过程等对象，进行数字化而产生数据，通过网络化实现数据的价值流动，以数据为生产要素，通过智能化为各行业创造经济和社会价值。智能化是以数据的智能分析为基础，从而实现智能决策和智能操作，并通过闭环实现业务流程的持续智能优化。

以大数据、机器学习、深度学习为代表的智能技术已经在语音识别、图像识别、用户画像等方面得到应用，在算法、模型、架构等方面取得了较大的进展。智能技术已经率先在制造、电力、交通、医疗、农业、电梯、水务、物流、公共事业等行业开始应用，对智能技术提出了新的需求与挑战。行业智能时代已经来临。

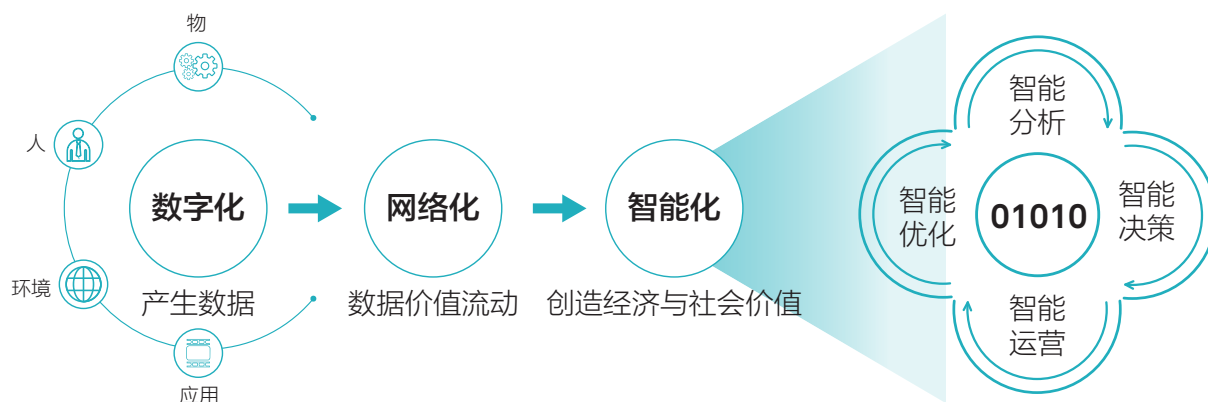


图1 行业数字化转型



以大数据、机器学习、深度学习为代表的智能技术已经在语音识别、图像识别、用户画像等方面得到应用，在算法、模型、架构等方面取得了较大的进展。智能技术已经率先在制造、电力、交通、医疗、农业、电梯、水务、物流、公共事业等行业开始应用，对智能技术提出了新的需求与挑战。行业智能时代已经来临。

行业智能分为1.0和2.0两个发展阶段：

1) 行业智能1.0

行业智能1.0是面向市场线索、营销、采购、物流、售后等商业过程，将用户、应用和商业流程的行为和状态进行数字化，基于多维度数据分析和场景感知，建立行业的信息图谱，为行业用户提供个性化的资源配置和服务。

行业智能1.0的快速发展得到了ICT创新技术的支撑，包括：

- » 泛在网络联接使能数据的快速流动；
- » 云计算按需提供低成本的基础设施服务应对业务负载变化；
- » 大数据挖掘、分析和管理海量数据，提升企业的商业决策能力；
- » 算法+数据+算力，释放了行业智能的潜在价值。

2) 行业智能2.0

面向产品规划、设计、制造、运营等生产过程，产品、生产装备、工艺流程等已经逐步数字化和网络化，行业智能2.0已经具备了基础条件。这里所指的产品、装备具有广义的概念，既包括制造业所生产的产品和制造产线等，也包括能源、交通、农业、公共事业等行业提供服务时所依赖的资产，如电表、交通工具、农业机械、环境监测仪器等。

行业智能2.0需要达成如下目标：

- » 提升生产与服务过程敏捷性和协作性
- » 提升资源共享和减少能耗
- » 降低生产运行和运营不确定性
- » 与行业智能1.0协作，建立生产、销售和服务的端到端行业智能

行业智能2.0时代需要行业发生四个关键转变：

- » 物理世界与数字世界从割裂转变为协作融合；
- » 运营决策从模糊的经验化转变为基于数字化、模型化的科学化；
- » 流程从割裂转变基于数据的全流程协同；
- » 从企业单边创新转变为基于产业生态的多边开放创新。



1.2 行业智能2.0面临的挑战

从DIKW模型视角看，行业智能2.0面临了四大挑战：

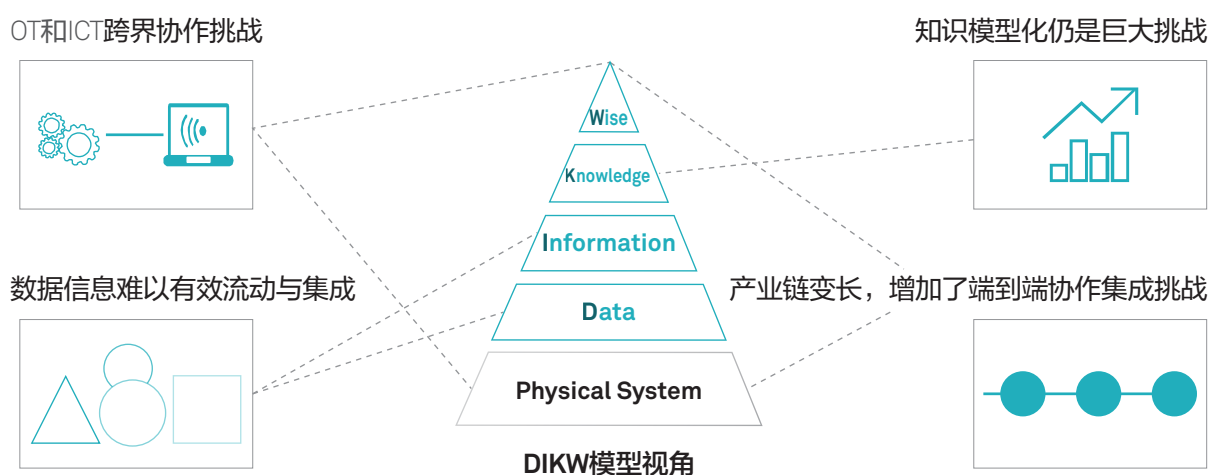


图2 行业智能2.0面临的挑战

OT和ICT跨界协作挑战

OT (Operation Technology) 与ICT (Information and Communication Technology) 关注重点不同，OT关注物理和商业约束、人身安全，ICT关注商业约束、信息安全；OT与ICT在行业语言、知识背景、文化背景存在较大差异，相互理解困难；OT技术体系碎片化、专用化与标准化、开放性的ICT技术体系集成协作存在挑战困难；OT与ICT的融合协作也将带来安全方面的挑战。

OT与ICT的跨界协作需要建立物理世界和数字世界的联接与融合。

数据信息难以有效流动与集成

目前业界有超过6种以上的工业实时以太网技术，超过40种工业总线，缺少统一的信息与服务定义模型。烟囱化的系统导致数据孤岛，使信息难以有效流动与交互。

信息有效流动与集成是支持数据创新、服务创新的基础，需要建立数据全生命周期管理。

知识难以模型化是巨大挑战

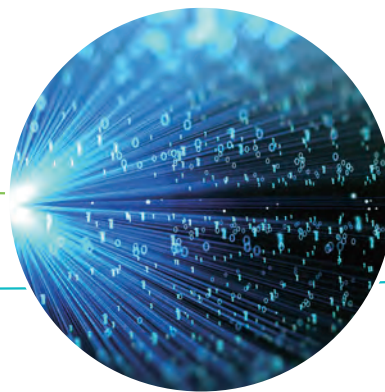
知识模型 (Knowledge Model) 主要解决知识的表示、组织与交互关系，知识的有序化以及知识处理模型，是将知识进行形式化和结构化的抽象。知识模型不是知识，是知识的抽象，以便于计算机理解与处理。

知识模型输入存在信息不完整、不准确和不充分的挑战；知识模型处理的算法与建模还需持续改进与优化；知识模型输出的应用场景有限需要持续积累。

知识模型化是高效、低成本实现行业智能的关键素。

产业链变长，增加了端到端协作集成的挑战

需要物理世界和数字世界的产业链的协作，需要产品全生命周期的数据集成，需要价值链上的各产业角色建立起协作生态。这种多链条的协作与整合对数据端到端流动和全生命周期管理提出了更高的要求。



1.3 边缘计算能力的需求

面向行业智能2.0的挑战，边缘计算需要提供四个关键能力：

1) 建立物理世界和数字世界的联接与互动

通过数字孪生，在数字世界建立起对多样协议、海量设备和跨系统的物理资产的实时映像，了解事物或系统的状态，应对变化，改进操作和增加价值。

在过去十年里，网络、计算和存储领域作为ICT产业的三大支柱，在技术可行性和经济可行性发生了指数性提升。

网络领域变化：带宽提升千倍，而成本下降到1/40倍；

计算领域变化：计算芯片的成本下降到1/60倍；

存储领域变化：单硬盘容量增长万倍，而成本下降到1/17倍。

正是联接成本的下降、计算力的提升、海量的数据，使得数字孪生可以在行业智能2.0时代发挥重要作用。

2) 以模型驱动的智能分布式架构与平台

在网络边缘侧的智能分布式架构与平台上，通过知识模型驱动智能化能力，实现了物自主化和物协作

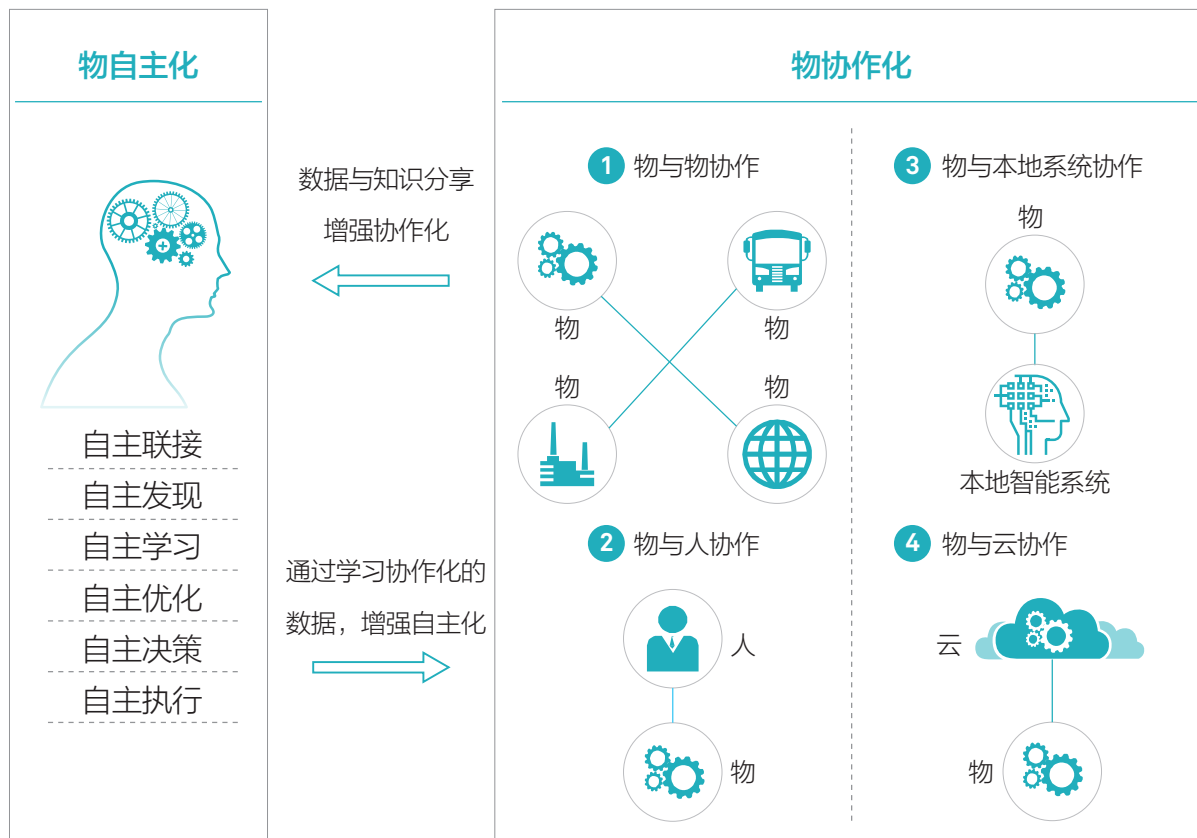


图3 智能分布式架构

边缘控制器：通过融合网络、计算、存储等ICT能力，具有自主化和协作化能力。

边缘网关：通过网络联接、协议转换等功能联接物理和数字世界，提供轻量化的联接管理、实时数据分析及应用管理功能。

边缘云：基于多个分布式智能网关或服务器的协同构成智能系统，提供弹性扩展的网络、计算、存储能力。

智能服务：基于模型驱动的统一服务框架，面向系统运维人员、业务决策者、系统集成商、应用开发人员等多种角色，提供开发服务框架和部署运营服务框架。

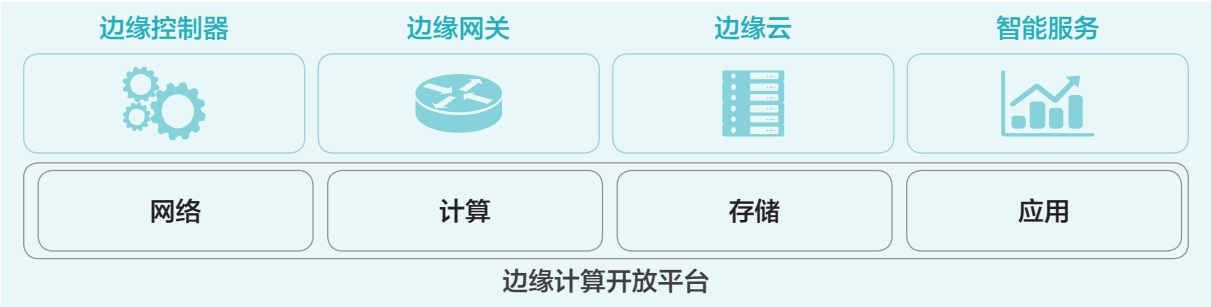


图4 边缘计算开放平台使能行业智能2.0

3) 提供开发、部署、运营的端到端服务框架

开发服务框架主要包括方案的开发、集成、验证和发布；部署运营服务框架主要包括方案的业务编排、应用部署和应用市场。开发服务框架和部署运营服务框架需要紧密协同、无缝运作，支持方案快速高效开发、自动部署和集中运营。

4) 边缘计算与云计算的能力协同

边缘侧需要支持多种网络接口、协议与拓扑，业务实时处理与确定性时延，数据处理与分析，分布式智能和安全与隐私保护。云端难以满足上述要求，需要边缘计算与云计算在网络、业务、应用和智能方面进行协同。





1.4 边缘计算产业化当前进展

2015年边缘计算进入到Gartner的Hype Cycle（技术成熟曲线）。

边缘计算已经掀起产业化的热潮，各类产业组织、商业组织在积极发起和推进边缘计算的研究、标准、产业化活动。具有代表性的活动包括：

学术研究

2016年10月，由IEEE和ACM正式成立了IEEE/ACM Symposium on Edge Computing，组成了由学术界、产业界、政府（美国国家基金会）共同认可的学术论坛，对边缘计算的应用价值，研究方向开展了研究与讨论。

2018年5月，2018年边缘计算技术研讨会（SEC-China 2018），高校和科研机构互动研讨边缘计算，进一步梳理开发者需求。

2018年8月，华为与海尔、国家电网合作，联合IEC SMB开展边缘计算研究与讨论。

标准化

2017年IEC发布了VEI（Vertical Edge Intelligence）白皮书，介绍了边缘计算对于制造业等垂直行业的重要价值。

ISO/IEC JTC1 SC41成立了边缘计算研究小组，以推动边缘计算标准化工作。

在IEEE P2413物联网架构（Standard for an Architectural Framework for the IoT）中，边缘计算成为了该架构的重要内涵。

中国通信标准化协会（CCSA）成立了工业互联网特设组(ST8)，并在其中开展了工业互联网边缘计算行业标准的制定。

同时，在国际电工委员会（IEC）的标准化管理局（SMB）中，建立了智慧工厂、虚拟电厂的测试床。边缘计算在国际标准组织中的影响力得到进一步推广。

产业联盟

2016年11月华为技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、英特尔公司、ARM和软通动力信息技术（集团）有限公司联合倡议发起边缘计算产业联盟(Edge Computing Consortium，缩写为ECC)。

2017年，全球性产业组织工业互联网联盟IIC成立Edge Computing TG，定义边缘计算参考架构。

2018年10月，ECC目前成员200+家，覆盖研究机构，运营商，生产制造，智慧城市，能源/电力，ICT领域，专家委员会含有中国工程院院士3人，50+行业专家，覆盖4个行业的21+8个测试床(制造，能源/电力，智慧城市，交通)，含有3行业委员会：智慧照明，智慧车载，边缘监控。



02 边缘计算的概念与价值

2.1 边缘计算概念

边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台（架构），就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷联接、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。它可以作为联接物理和数字世界的桥梁，使能智能资产、智能网关、智能系统和智能服务。

2.2 基本特点和属性

联接性

联接性是边缘计算的基础。所联接物理对象的多样性及应用场景的多样性，需要边缘计算具备丰富的联接功能，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。联接性需要充分借鉴吸收网络领域先进研究成果，如TSN、SDN、NFV、Network as a Service、WLAN、NB-IoT、5G等，同时还要考虑与现有各种工业总线的互联互通。

数据第一入口

边缘计算作为物理世界到数字世界的桥梁，是数据的第一入口，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价值创造，将更好的支撑预测性维护、资产效率与管理等创新应用；同时，作为数据第一入口，边缘计算也面临数据实时性、确定性、多样性等挑战。

约束性

边缘计算产品需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/电压波动等。在工业互联网场景下，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。

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、实现分布式资源的动态调度与统一管理、支撑分布式智能、具备分布式安全等能力。

融合性

OT与ICT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，需要支持在联接、数据、管理、控制、应用、安全等方面的协同。

2.3 边缘计算CROSS功能

联接的海量与异构（Connection）

网络是系统互联与数据聚合传输的基石。伴随联接设备数量的剧增，网络运维管理、灵活扩展和可靠性保障面临巨大挑战。同时，工业现场长期以来存在大量异构的总线联接，多种制式的工业以太网并存，如何兼容多种联接并且确保联接的实时可靠是必须要解决的现实问题。

业务的实时性（Real-time）

工业系统检测、控制、执行的实时性高，部分场景实时性要求在10ms以内。如果数据分析和控制逻辑全部在云端实现，难以满足业务的实时性要求。

数据的优化（Optimization）

当前工业现场存在大量的多样化异构数据，需要通过数据优化实现数据的聚合、数据的统一呈现与开放，以灵活高效地服务于边缘应用的智能。

应用的智能性（Smart）

业务流程优化、运维自动化与业务创新驱动应用走向智能，边缘侧智能能够带来显著的效率与成本优势。以预测性维护为代表的智能化应用场景正推动行业向新的服务模式与商业模式转型。



安全与隐私保护（Security）

安全跨越云计算和边缘计算之间的纵深，需要实施端到端防护。网络边缘侧由于更贴近万物互联的设备，访问控制与威胁防护的广度和难度因此大幅提升。边缘侧安全主要包含设备安全、网络安全、数据安全与应用安全。此外，关键数据的完整性、保密性，大量生产或人身隐私数据的保护也是安全领域需要重点关注的内容。

2.4 边缘计算与云计算协同

边缘计算与云计算各有所长，云计算擅长全局性、非实时、长周期的大数据处理与分析，能够在长周期维护、业务决策支撑等领域发挥优势；边缘计算更适用局部性、

实时、短周期数据的处理与分析，能更好地支撑本地业务的实时智能化决策与执行。

因此边缘计算与云计算之间不是替代关系，而是互补协同关系，边云协同将放大边缘计算与云计算的应用价值：边缘计算既靠近执行单元，更是云端所需高价值数据的采集和初步处理单元，可以更好地支撑云端应用；反之，云计算通过大数据分析优化输出的业务规则或模型可以下发到边缘侧，边缘计算基于新的业务规则或模型运行。

边缘计算不是单一的部件，也不是单一的层次，而是涉及到EC-IaaS、EC-PaaS、EC-SaaS的端到端开放平台。因此边云协同的能力与内涵涉及IaaS、PaaS、SaaS各层面的全面协同，主要包括六种协同：资源协同、数据协同、智能协同、应用管理协同、业务管理协同、服务协同。

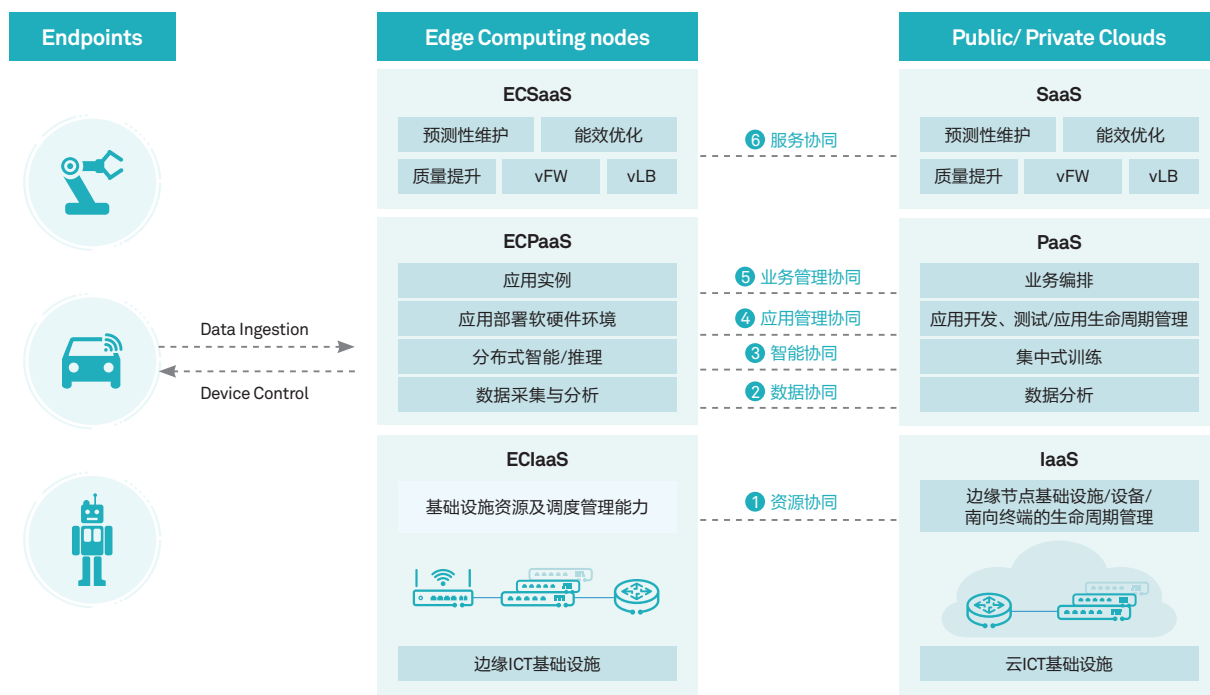


图5 边云协同的总体能力与内涵

03 边缘计算参考架构

3.1 模型驱动参考架构

参考架构基于模型驱动的工程方法（Model-Driven Engineering MDE）进行设计。基于模型可以将物理和数字世界的知识模型化，从而实现：

物理世界和数字世界的协作

对物理世界建立实时、系统的认知模型。在数字世界预测物理世界的状态、仿真物理世界的运行、简化物理世界的重构，然后驱动物理世界优化运行。能够将物理世界的全生命周期数据与商业过程数据建立协同，实现商业过程和生产过程的协作。

跨产业的生态协作

基于模型化的方法，ICT和各垂直行业可以建立和复用本领域的知识模型体系。ICT行业通过水平化的边缘计算领域模型和参考架构屏蔽ICT技术复杂性，各垂直行业将行业

Know-How进行模型化封装，实现ICT行业与垂直行业的有效协作。

减少系统异构性，简化跨平台移植

系统与系统之间、子系统与子系统之间、服务与服务之间、新系统与旧系统之间等基于模型化的接口进行交互，简化集成。基于模型，可以实现软件接口与开发语言、平台、工具、协议等解耦，从而简化跨平台的移植。

有效支撑系统的全生命周期活动

包括应用开发服务的全生命周期、部署运营服务的全生命周期、数据处理服务的全生命周期、安全服务的全生命周期等。

基于上述理念，ECC提出了如下的边缘计算参考架构3.0：

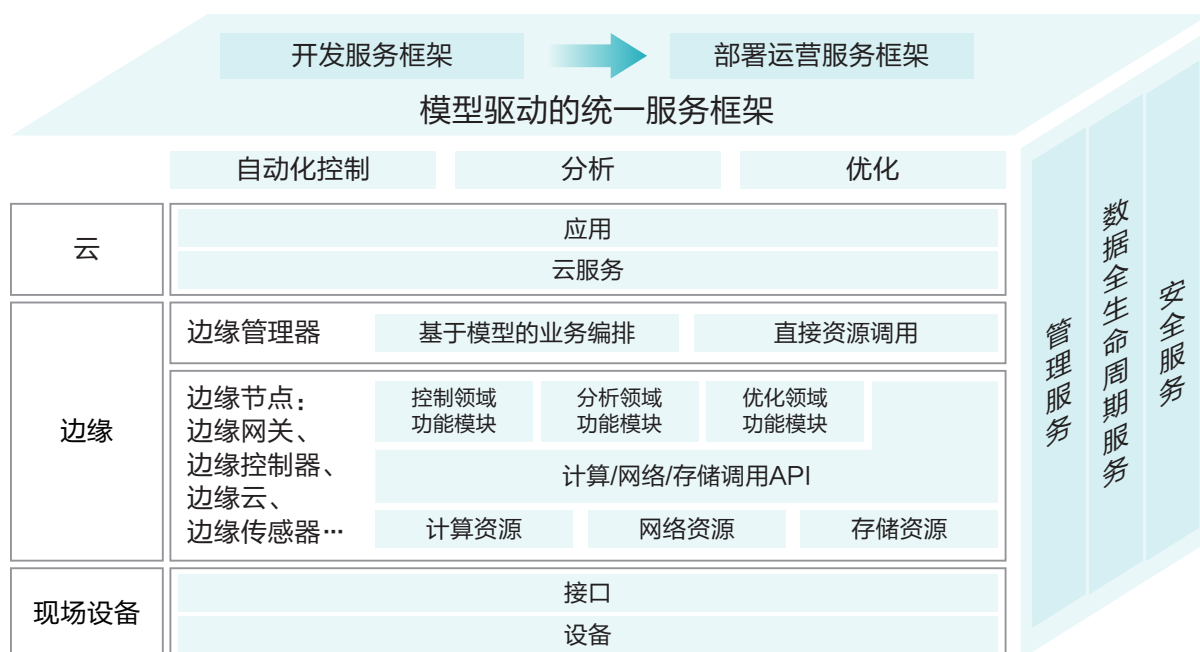


图6 边缘计算参考架构3.0



边缘计算参考架构3.0的主要内容包括：

- » 整个系统分为云、边缘和现场三层，边缘计算位于云和现场层之间，边缘层向下支持各种现场设备的接入，向上可以与云端对接；
- » 边缘层包括边缘节点和边缘管理器两个主要部分。边缘节点是硬件实体，是承载边缘计算业务的核心。边缘计算节点根据业务侧重点和硬件特点不同，包括以网络协议处理和转换为重点的边缘网关、以支持实时闭环控制业务为重点的边缘控制器、以大规模数据处理为重点的边缘云、以低功耗信息采集和处理为重点的边缘传感器等。边缘管理器的呈现核心是软件，主要功能是对边缘节点进行统一的管理。
- » 边缘计算节点一般具有计算、网络 and 存储资源，边缘计算系统对资源的使用有两种方式：第一，直接将计算、网络和存储资源进行封装，提供调用接口，边缘管理器以代码下载、网络策略配置和数据库操作等方式使用边缘节点资源；第二，进一步将边缘节点的资源按功能领域封装成功能模块，边缘管理器通过模型驱动的业务编排的方式组合和调用功能模块，实现边缘计算业务的一体化开发和敏捷部署。

3.2 多视图呈现

以ISO/IEC/IEEE 42010:2011架构定义国际标准为指导，将产业对边缘计算的关注点进行系统性的分析，并提出了解决措施和框架，通过商业视图、使用视图、功能视图和部署视图来展示边缘计算参考架构。



图7 多视图呈现

多视图呈现的主要内容包括：

商业视图

商业视图用于建立利益相关者间的关系及其业务愿景，确定如何将利益目标映射到基本系统功能中。该视图面向业务，对业务决策者、产品经理和系统工程师有益。

使用视图

使用视图解决了预期系统如何使用问题。通常表示为涉及人或逻辑用户的活动序列，以实现预期功能，并最终实现系统功能。该视图的利益相关者通常包括系统工程师，产品经理和最终用户等。

功能视图

功能视图侧重于系统中的功能组件，它们之间的相互关系和结构，它们之间的接口和交互，以及系统与支持该系统活动的外部元素的关系和交互。系统和组件架构师，开发人员和集成商特别关注这些问题。

实现视图

部署视图涉及实现功能组件，通信方案及其生命周期过程所需的技术。这些组件由使用视图中的活动协调，并支持商业视图中的功能。系统和组件架构师，开发人员和集成商以及系统操作员特别关注这些问题。

3.3 商业视图

边缘计算网络的商业视图是从商业视角出发，聚焦利益相关者间的企业愿景、价值观和企业目标，并将利益目标映射到基本系统功能中，最终推导出自动化控制、分析和优化等边缘计算系统核心需求。

为了确定、评估并解决边缘计算网络的商业化问题，引入了应用场景、价值、关键目标、基本功能等概念，并确定了它们之间的逻辑关系，边缘计算的商业视图如下图所示。

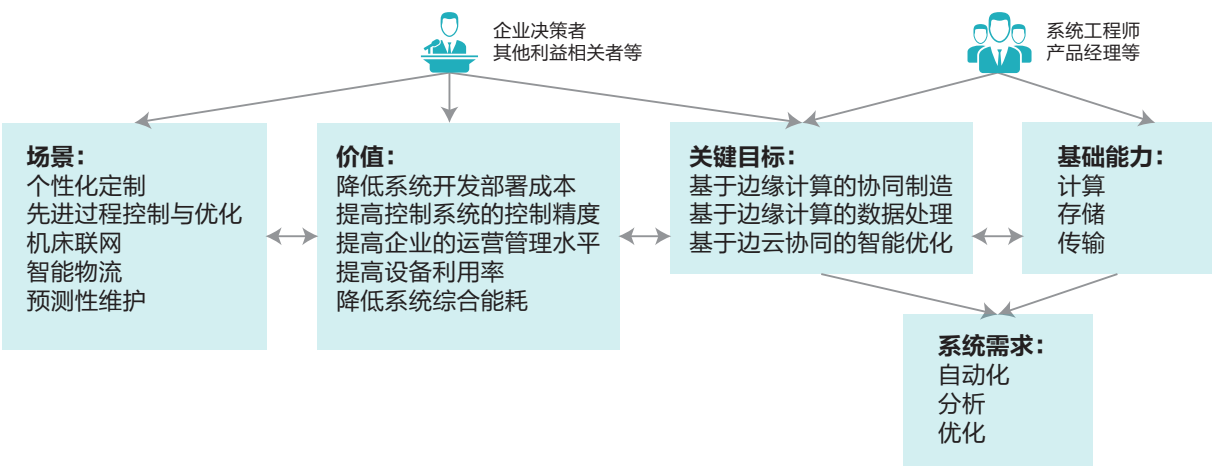


图8 边缘计算的商业视图

边缘计算的商业视图包括利益关系人、场景、价值、关键目标、基本功能、系统需求等部分。场景是企业决策者对企业未来发展方向的具体表达，价值是确定企业决策者设定的应用场景的合理性，即场景推导出价值，价值验证应用场景。关键目标是用于实现价值的可量化技术指标，价值推导出关键目标，关键目标是价值的交付。系统工程师和产品经理关注的是关键目标和基本功能，关键目标是系统工程师要实现的开发目标，基本功能是确认开发目标的合理性技术，即关键目标推导出基本功能，基本功能支持关键目标。系统需求是使用视图的主要部分，同时是商业视图和使用视图的衔接部分。商业视图的关键目标和基本功能推导出使用视图的系统需求，系统需求反过来支持基本功能和关键目标。

利益关系人

商业视图以企业为主体，因此利益关系人主要包括企业决策者、产品经理和系统工程师等。

- » 企业决策者主要关注边缘计算的应用场景、价值、和关键目标。
- » 系统工程师和产品经理主要关注关键目标和系统基础能力。

场景

场景部分描述了边缘计算的典型应用场景，主要包括：

- » 个性化定制
- » 先进过程控制与优化
- » 机床联网
- » 智能物流
- » 预测性维护



价值

价值用于反应应用场景能够实现的经济效益，主要包括以下五方面：

- » 降低系统开发部署成本：边缘计算架构采用边缘节点替换传统的大型机，降低了设备的采购成本，边缘侧节点具有计算存储能力，节约了通信成本。
- » 提高控制系统的控制精度：边缘计算架构的边缘节点进行本地数据处理，降低了数据处理和传输时延，从而提高了实时性，进而可以提高控制系统的控制精确度。
- » 提高企业的运营管理水平：边缘计算架构采用边缘侧节点与云端协作的方式，将有价值的信息传递到云端进行深入分析和建模，更全面的掌握了企业网中的动态，实现了全方位的运营管理。
- » 提高设备利用率：边缘计算架构的云端节点分析阶段性设备利用率，对设备的启停时间段进行合理规划，从而提高了设备的利用率。
- » 降低系统综合能耗：一方面边缘计算可以对企业中的水、电、气等资源进行监控，节约资源的同时降低能耗，另一方面通过边缘计算实现了设备利用率的提高，进而可以降低系统的综合能耗。

关键目标

关键目标是指为了实现价值而提出的量化技术，同时可以推导出边缘计算系统应该具备的基础能力。

边缘计算的关键目标包括以下部分：

- » 基于边缘计算的协同制造：基于边缘计算的协同制造充分利用了网络技术、信息技术，协同制造将串行工作变为并行工程，实现供应链内及跨供应链间的企业产品设计、制造、管理和商务等的合作的生产模式，最终通过改变业务经营模式与方式达到资源充分利用的目的。
- » 基于边缘计算的数据处理：基于边缘计算的数据处理在边缘侧和云端分别对数据进行分析 and 加工。边缘侧主要负责各种原始数据的分析、整理、计算、编辑等的加工和处理。云端主要针对大量边缘侧传递来的数据进行建模分析，发现其中深层联系和意义。

- » 基于边云协同的智能优化：边缘计算架构通过使能云端和边缘侧的计算资源，智能优化延伸到边缘侧，将边缘节点智能化，采用云上智能模型训练、边缘模型推理、预测执行的模式，既满足了实时性的要求，同时大幅降低无效数据上云。

基础能力

边缘计算架构对应的关键目标对网络基础资源能力提出了要求，主要包括对计算、存储、网络传输能力的要求。

系统需求

系统需求是由关键目标和基础能力推导出的系统基本功能需求模块，边缘计算网络架构可以归纳出三条系统需求，分别如下：

- » 自动化：自动化实现了工业场景中设备、系统或过程的自动控制，减少人员的直接参与，通过自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制，实现预期的目标。利用边缘计算网络架构实现的自动化技术比传统的自动化技术更具有优势，控制精度和实时性都能得到极大地提高。采用自动化技术不仅解放了劳动力，而且能够极大地提高生产率。
- » 分析：分析的过程是将复杂的事物逐渐拆分，以此来实现更好的理解。边缘计算网络具有强大的分析能力，能够实时的处理和分析数据，由于其数据处理更接近数据源，而不是在外部数据中心或云端进行，因此可以减少延时，提高了分析效率。
- » 优化：优化的过程是对数据进行深层次的处理建模，发现其中规律并指导生产实践。基于边缘计算的优化需求主要包括数据采集方式优化、过程控制优化等。数据采集方式优化是通过边缘侧数据采集并处理，降低无效数据上云带来的通信开销和处理时延。过程控制优化是指通过边缘侧收集更多有效的数据到云端，模拟还原真实的生产场景，评估确定更准确的生产指导意见反馈给现场的过程控制设备，更好的指导生产制造。

3.4 使用视图

使用视图定位于如何指导实现可靠、复杂的边缘计算系统应用(功能)。边缘计算使用视图描述了在边缘计算应用所涉及的不同系统单元之间需要协同的活动，这些活动描述了系统的设计、实现、部署、操作和发展各个阶段的关键性操作。参与边缘计算系统各生命周期的多类型用户，对能够实现其预期目标（输入）的业务流程进行定义，为后续的系统设计和实施提供指导（输出）。

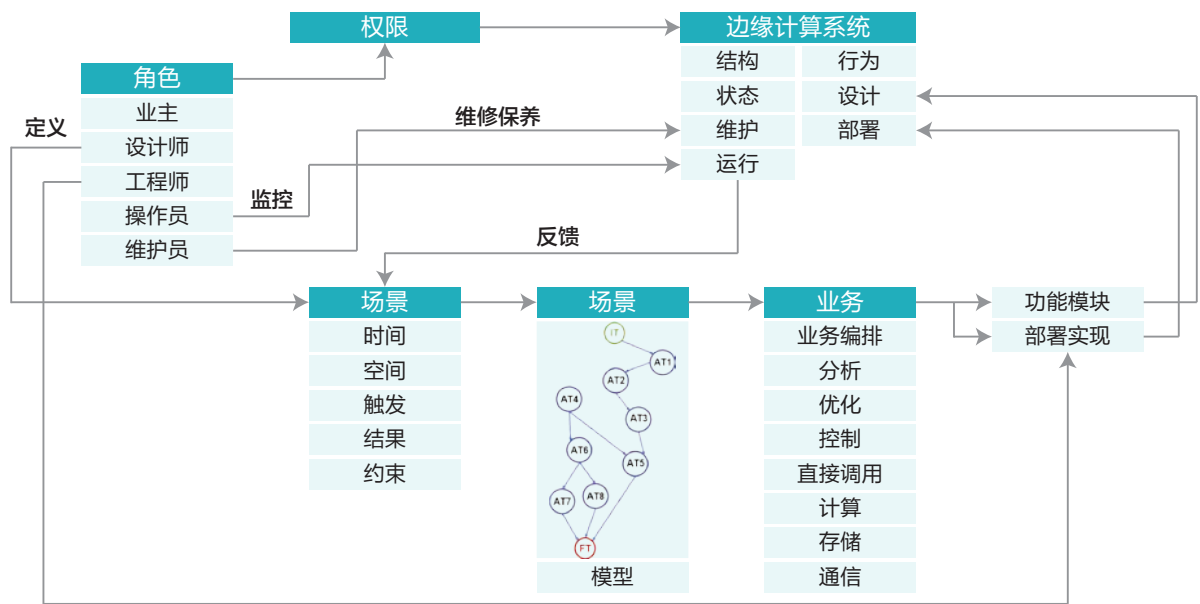


图9 边缘计算的使用视图

边缘计算的使用视图包括以下内容：

- » 边缘计算系统：系统在不同状态（生命周期阶段）的结构和行为。
- » 角色：边缘应用全生命周期内涉及的多种用户类型，即系统的拥有者、设计者、工程师、操作员和维护员，分别对边缘计算系统进行管理、定义、设计实现、操作监控和维修保养。
- » 权限：从安全可靠角度，限定边缘计算系统的访问权限。
- » 场景：用户定义的各类业务流程的需求情景，包括个性化定制、预测性维护等。边缘计算强调边缘智能，场景的核心元素包括时间、空间、触发条件、结果和约束等。
- » 流程：由节点和有向连接描述的流程图，节点代表任务、有向连接代表任务之间的逻辑先后次序。
- » 业务：边缘计算系统可执行的模块任务，包括业务编排和简单业务调用两种方式，其中业务编排按照模型驱动流程图调用相应的功能模块完成，直接调用则是直接通过代码下载等方式完成流程规定的逻辑关系。
- » 功能模块、实现模块：为后续设计功能实现和实现阶段提供依据。



3.5 功能视图

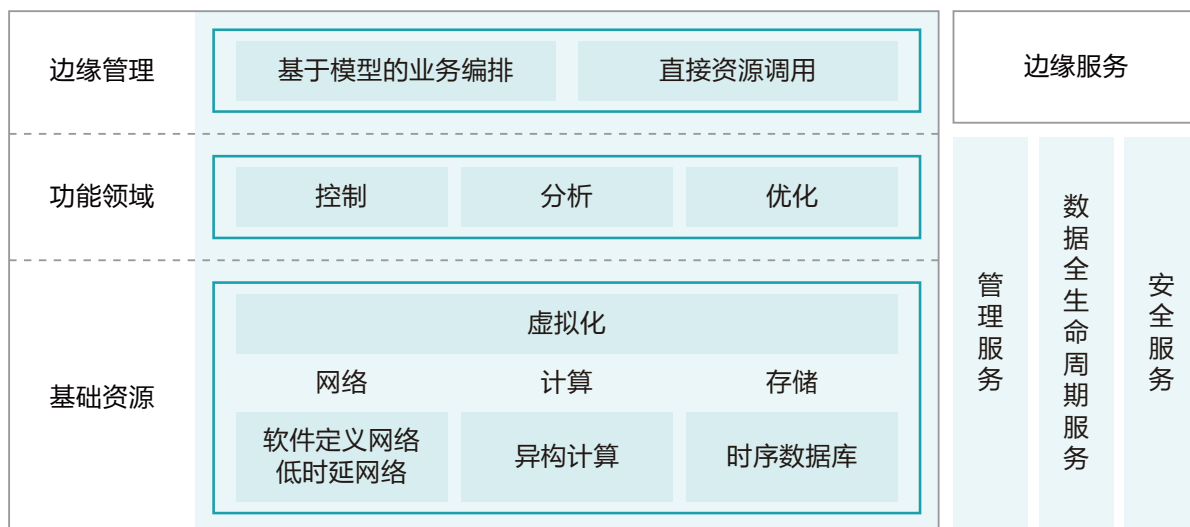
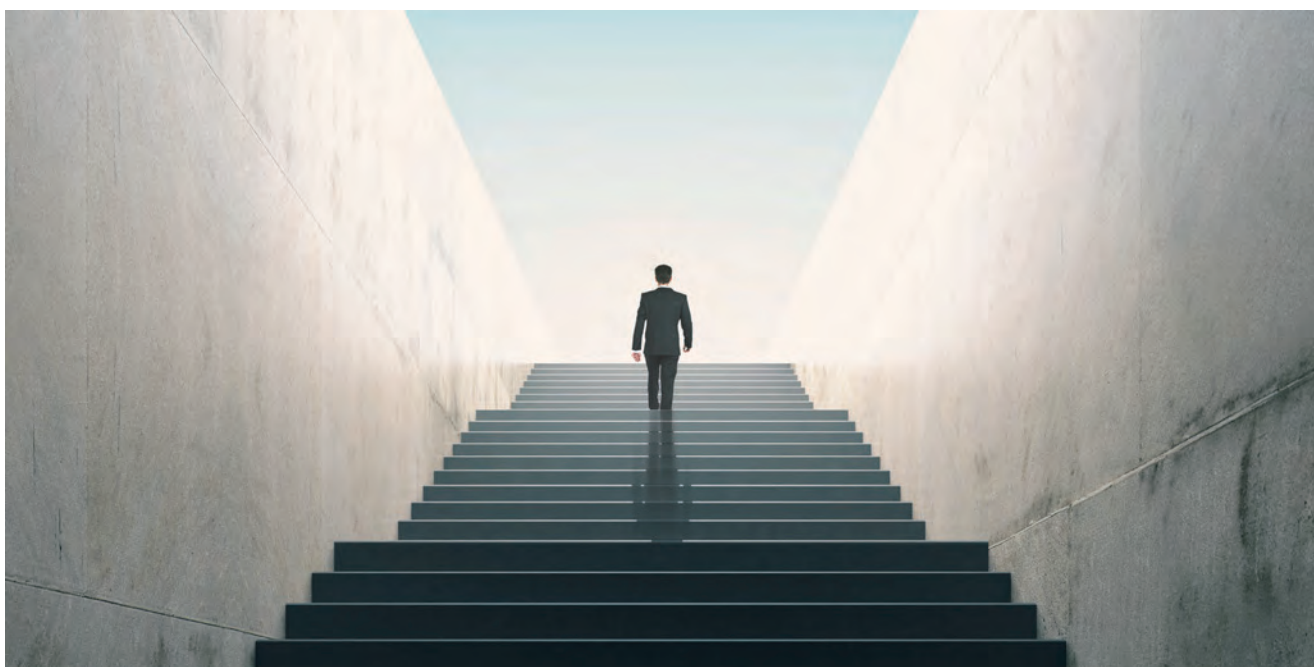


图10 边缘计算的功能视图



3.5.1 基础资源

基础资源包括网络、计算和存储三个基础模块，以及虚拟化服务。

1) 网络

边缘计算的业务执行离不开通信网络的支持，边缘计算的网络特点是既要满足与控制相关业务传输时间的确定性和数据完整性，又要能够支持业务的灵活部署和实施。时间敏感网络（TSN）和软件定义网络（SDN）技术会是边缘计算网络部分的重要基础资源。

为了提供网络联接需要的传输时间确定性与数据完整性，国际标准组织IEEE制订了TSN（Time-Sensitive Networking）系列标准，针对实时优先级、时钟等关键服务定义了统一的技术标准，是工业以太联接未来的发展方向。

SDN（Software-Defined Networking）逐步成为网络技术发展的主流，其设计理念是将网络的控制平面与数据转发平面进行分离，并实现可编程化控制。将SDN应用于边缘计算，可支持百万级海量网络设备的接入与灵活扩展，提供高效低成本的自动化运维管理，实现网络与安全的策略协同与融合。

2) 计算

异构计算HC（Heterogeneous Computing）是边缘侧关键的计算硬件架构。近年来，虽然摩尔定律仍然推动芯片技术不断取得突破，但物联网应用的普及带来了信息量爆炸式增长，而AI技术应用增加了计算的复杂度，这些对计算能力都提出了更高的要求。计算要处理的数据种类也日趋多样化，边缘设备既要处理结构化数据，同时也要处理非结构化的数据。同时，随着边缘计算节点包含了更多种类和数量的计算单元，成本成为了关注点。

为此，业界提出将不同类型指令集和不同体系架构的计算单元协同起来的新计算架构，即异构计算，以充分发挥各种计算单元的优势，实现性能、成本、功耗、可移植性等方面的均衡。

同时，以深度学习为代表的新一代AI在边缘侧应用还需要新的技术优化。当前，即使在推理阶段对一副图片的处理也往往需要超过10亿次的计算量，标准的深度学习算法显然是不适合边缘侧的嵌入式计算环境。业界正在进行的优化方向包括自顶向下的优化，即把训练完的深度学习模型进行压缩来降低推理阶段的计算负载；同时，也在尝试自底向上的优化，即重新定义一套面向边缘侧嵌入系统环境的算法架构。

3) 存储

数字世界需要实时跟踪物理世界动态变化，并按照时间序列存储完整的历史数据。新一代时序数据库TSDB（Time Series Database）是存放时序数据（包含数据的时间戳等信息）的数据库，并且需要支持时序数据的快速写入、持久化、多纬度的聚合查询等基本功能。为了确保数据的准确和完整性，时序数据库需要不断插入新的时序数据，而不是更新原有数据。

4) 虚拟化

虚拟化技术降低了系统开发和部署成本，已经开始从服务器应用场景向嵌入式系统应用场景渗透。典型的虚拟化技术包括裸金属（Bare Metal）架构和主机（Host）架构，前者是虚拟化层的虚拟机管理器（Hypervisor）等功能直接运行在系统硬件平台上，然后再运行操作系统和虚拟化功能。后者是虚拟化层功能运行在主机操作系统上。前者有更好的实时性，智能资产和智能网关一般采用该方式。



3.5.2 各领域功能模块

边缘计算的功能模块可以分为控制、分析和优化三个领域。

1) 控制

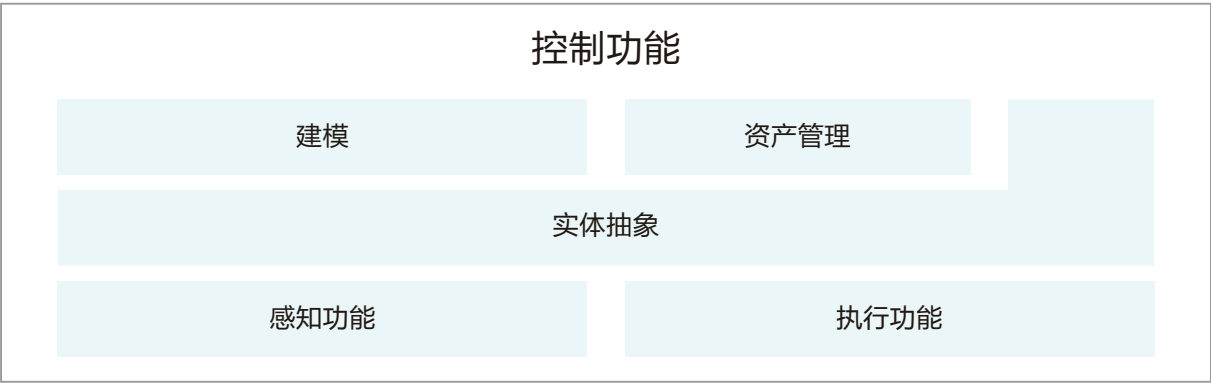


图11 控制功能

工业互联网边缘计算场景中，控制仍然是一个重要的核心功能领域。控制系统要求对环境感知和执行“稳”、“准”、“快”。因此，大规模复杂系统对控制器的计算能力和实时响应要求严格，利用边缘计算增强本地计算能力，降低由云集中式计算带来的响应延迟是面向大规模复杂控制系统的有效解决方案。

控制功能领域主要包括对环境的感知和执行、实时通信、实体抽象、控制系统建模、设备资源管理和程序运行执行器等功能，如图所示。

- » 感知与执行：感知的主要角色是从传感器中读取环境信息。相反，执行的主要角色是向执行器中写入由环境变化引起的响应操作。两者的物理实现通常由一组专用硬件、固件、设备驱动程序和API接口组成。
- » 实体抽象：在一个更高的层次通过虚拟实体表征控制系

统中的传感器、执行器、同级控制器和系统，并描述他们之间的关系，包含系统元素之间消息传递过程中消息的语义。一方面易于用于控制系统上下文表征，容易理解感知信息和执行信息的含义；另一方面，虚拟实体将系统硬件软件化和服务化，系统构建过程中可以纵向将硬件、系统功能和特定应用场景组合，增加开发的灵活性，提高开发效率。

- » 建模：控制系统建模通过解释和关联从环境（包括传感器、网络设备）中获取的数据，达到理解系统的状态、转换条件和行为的目的。建模的过程也是从定性地了解系统的工作原理及特性到定量地描述系统的动态特性的过程。
- » 资产管理：资产管理是指对控制系统操作的管理，包括系统上线、配置、执行策略、软/固件更新以及其他系统生命周期管理的操作。

2) 分析



图12 分析功能

边缘计算的计算迁移策略一方面是将海量边缘设备采集或产生的数据进行部分或全部计算的预处理操作，对无用的数据进行过滤，降低传输的带宽；另一方面是将时间敏感型数据分析应用迁移至边缘侧，提高数据访问的速度，保证数据中心可靠性，满足数据生成速度的需求。

分析功能领域主要包括流数据分析、视频图像分析、智能计算和数据挖掘等。

- » 基于流式数据分析对数据即来即处理，可以快速响应事件和不断变化的业务条件与需求，加速对数据执行持续分析。针对流数据大量、连续、快速、随时间变化快等特点，流数据分析需要能够过滤无关数据，进行数据聚合和分组，快速提供跨流关联信息，将元数据、参考数据和历史数据与上下文的流数据相结合，并能够实时监测异常数据。
- » 对海量非结构化的视频数据，在边缘侧提供实时的图像特征提取、关键帧提取等基础功能支持。
- » 在边缘侧应用智能算法（例如传统的遗传算法、蚁群算法、粒子群算法；人工智能相关的神经网络、机器学习等），利用智能计算完成对复杂问题的求解。提供常用的统计模型库，支持统计模型、机理模型等模型算法的集成。支持轻量的深度学习等模型训练方法。

3) 优化

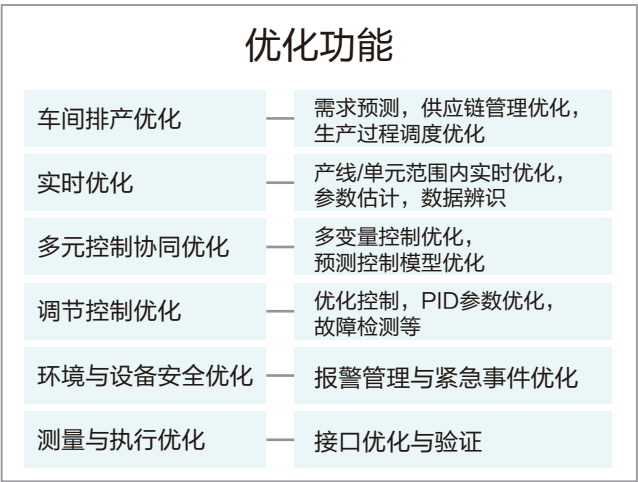


图13 优化功能

边缘计算优化功能涵盖了场景应用的多个层次：

- » **测量与执行优化**
优化传感器和执行器信号接口，减少通信数据量，保证信号传递的实时性。
- » **环境与设备安全优化**
对报警事件优化管理，尽可能实现及早发现与及早响应；优化紧急事件处理方式，简化紧急响应条件。
- » **调节控制优化**
采用优化控制策略、优化控制系统参数（例如，PID）、优化故障检测过程等。
- » **多元控制协同优化**
对预测控制系统的控制模型优化，MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）控制系统的参数矩阵优化，以及对多个控制器组成的分布式系统的协同控制优化。
- » **实时优化**
对生产车间或工作单元范围内的实时优化以实现参数估计和数据辨识等。
- » **车间排产优化**
主要包括优化需求预测模型，供应链优化管理，生产过程优化等。



3.5.3 边缘管理

边缘管理包括基于模型的业务编排以及对代码、网络和数据库的管理。

1) 基于模型的业务编排

基于模型的业务编排，通过架构、功能需求、接口需求等模型定义，支持模型和业务流程的可视化呈现，支持基于模型生成多语言的代码；通过集成开发平台和工具链集成边缘计算领域模型与垂直行业领域模型；支持模型库版本管理。

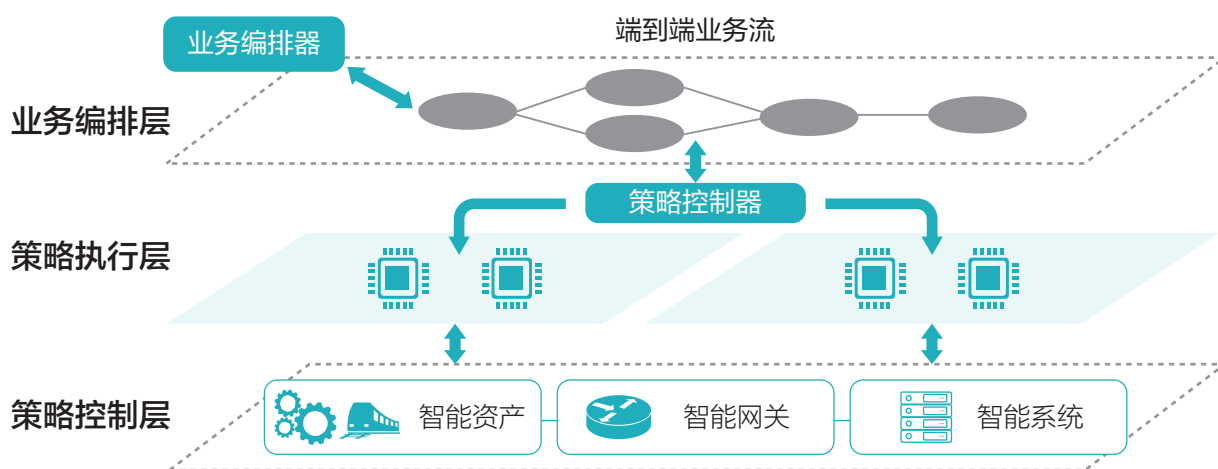


图14 业务编排

业务编排一般基于三层架构：

» 业务编排器

编排器负责定义业务组织流程，一般部署在云端（公私云）或本地（智能系统上）。编排器提供可视化的工作流定义工具，支持CRUD操作。编排器能够基于和复用开发服务框架已经定义好的服务模板、策略模板进行编排。在下发业务流程给策略控制器前，能够完成工作流的语义检查和策略冲突检测等。

» 策略控制器

为了保证业务调度和控制的实时性，通过在网络边缘侧部署策略控制器，实现本地就近控制。策略控制器按照一定策略，结合本地的边缘功能模块所支持的服务与能力，将业务流程分配给本地的某个或多个边缘功能模块用于具体实现。

考虑到边缘计算领域和垂直行业领域需要不同的领域知识和系统实现，控制器的设计和部署往往分域部署。由边缘计算领域控制器负责对安全、数据分析等边缘计算服务进行部署。涉及到垂直行业业务逻辑的部分，由垂直行业领域的控制器进行分发调度。

» 策略执行器

在每个边缘计算节点内置策略执行器模块，负责将策略翻译成本设备命令并在本地调度执行。边缘计算节点既支持由控制器推送策略，也可以主动向控制器请求策略。策略可以只关注高层次业务需求，而不对边缘计算节点进行细粒度控制，从而保证边缘计算节点的自主性和本地事件响应处理的实时性。

2) 直接资源调用

直接资源调用是通过代码管理、网络配置、数据库操作等方式直接调用相应的资源，完成业务功能。代码管理是指对功能模块的存储、更新、检索、增加、删除等操作，以及版本控制。网络管理是指在最高层面上对大规模计算机网络和工业现场网络进行的维护和管理，实现控制、规划、分配、部署、协调及监视一个网络的资源所需的整套功能的具体实施。数据库管理针对数据库的建立，数据库的调整，数据库的组合，数据可安全性控制与完整性控制，数据库的故障恢复和数据库的监控提供全生命周期的服务管理。



3.5.4 边缘服务

边缘计算参考架构3.0中的服务包括管理服务、数据全生命周期服务和安全服务。

1) 管理服务

支持面向终端设备、网络设备、服务器、存储、数据、业务与应用的隔离、安全、分布式架构的统一管理服务。

支持面向工程设计、集成设计、系统部署、业务与数据迁移、集成测试、集成验证与验收等全生命周期。

2) 数据全生命周期服务

边缘数据是在网络边缘侧产生的，包括机器运行数据、环境数据以及信息系统数据等，具有高流量（瞬间流量大）、流动速度快、类型多样、关联性强、分析处理实时性要求高等特点。

与互联网等商业大数据应用相比，边缘数据的智能分析有如下特点和区别：

» 因果VS关联

边缘数据主要面向智能资产，这些系统运行一般有明确的输入输出的因果关系，而商业大数据关注的是数据关联关系。

» 高可靠性VS较低可靠性

制造业、交通等行业对模型的准确度和可靠性要求高，否则会带来财产损失甚至人身伤亡。而商业大数据分析对可靠性要一般较低。边缘数据的分析要求结果可解释，所以黑盒化的深度学习方式在一些应用场景受到限制。将传统的机理模型和数据分析方法相结合是智能分析的创新和应用方向。

» 小数据VS大数据

机床、车辆等资产是人设计制造，其运行过程中的多数数据是可以预知的，其异常、边界等情况下的数据才真正有价值。商业大数据分析则一般需要海量的数据。



数据全生命周期服务

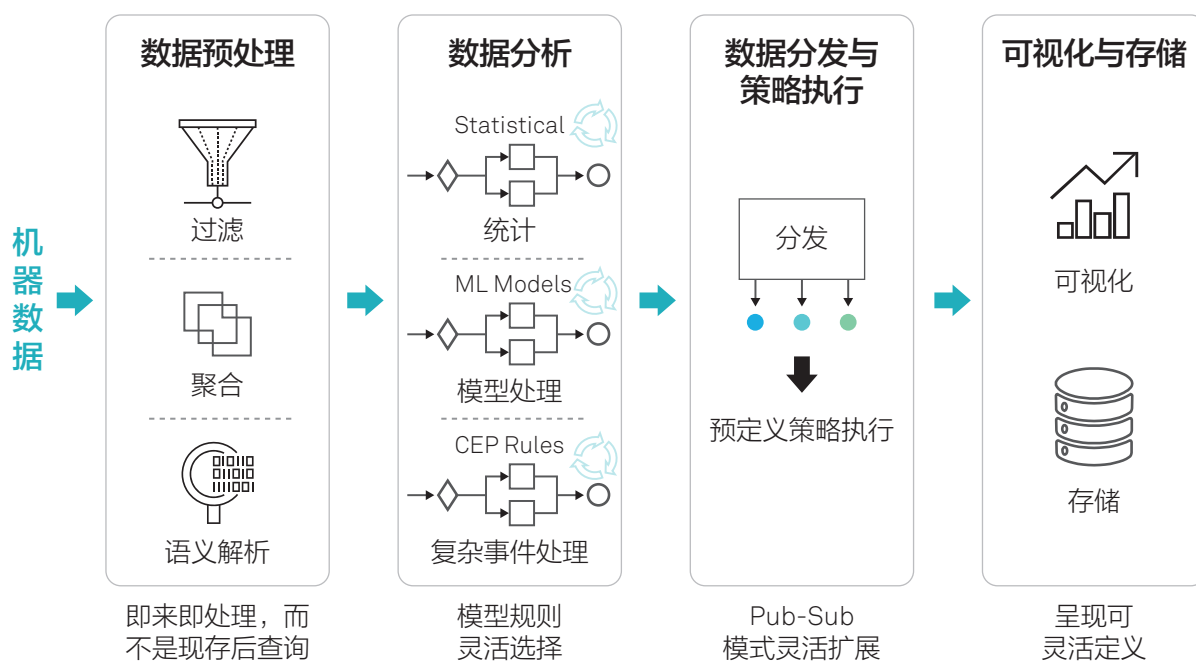


图15 数据全生命周期服务

可以通过业务编排层定义数据全生命周期的业务逻辑，包括指定数据分析算法等，通过功能领域优化数据服务的部署和运行，满足业务实时性等要求。

数据全生命周期包括：

» **数据预处理**

对原始数据的过滤、清洗、聚合、质量优化（剔除坏数据等）和语义解析。

» **数据分发和策略执行**

基于预定义规则和数据分析结果，在本地进行策略执行。或者将数据转发给云端或其他边缘计算节点进行处理。

» **数据可视化和存储**

采用时序数据库等技术可以大大节省存储空间并满足高速的读写操作需求。利用AR、VR等新一代交互技术逼真呈现。

3) 安全服务

边缘计算架构的安全设计与实现首先需要考虑：

- » 安全功能适配边缘计算的特定架构；
- » 安全功能能够灵活部署与扩展；
- » 能够在一定时间内持续抵抗攻击；
- » 能够容忍一定程度和范围内的功能失效，但基础功能始终保持运行；
- » 整个系统能够从失败中快速完全恢复。

同时，需要考虑边缘计算应用场景的独特性：

- » 安全功能轻量化，能够部署在各类硬件资源受限的IoT设备中；
- » 海量异构的设备接入，传统的基于信任的安全模型不

再适用，需要按照最小授权原则重新设计安全模型（白名单）；

- » 在关键的节点设备（例如边缘网关）实现网络与域的隔离，对安全攻击和风险范围进行控制，避免攻击由点到面扩展；
- » 安全和实时态势感知无缝嵌入到整个边缘计算架构中，实现持续的检测与响应。尽可能依赖自动化实现，但是人工干预时常也需要发挥作用。

安全的设计需要覆盖边缘计算架构的各个层级，不同层级需要不同的安全特性。同时，还需要有统一的态势感知、安全管理与编排、统一的身份认证与管理，以及统一的安全运维体系，才能最大限度地保障整个架构安全与可靠。



图16 安全服务



节点安全：需要提供基础的边缘计算安全、端点安全、软件加固和安全配置、安全与可靠远程升级、轻量级可信计算、硬件Safety开关等功能。安全与可靠的远程升级能够及时完成漏洞和补丁的修复，同时避免升级后系统失效（也就是常说的“变砖”）。轻量级可信计算用于计算（CPU）和存储资源受限的简单物联网设备，解决最基本的可信问题。

网络安全：包含防火墙（Firewall）、入侵检测和防护（IPS/IDS）、DDoS防护、VPN/TLS功能，也包括一些传输协议的安全功能重用（例如REST协议的安全功能）。其中DDoS防护在物联网和边缘计算中特别重要，近年来，越来越多的物联网攻击是DDoS攻击，攻击者通过控制安全性较弱的物联网设备（例如采用固定密码的摄像头）来集中攻击特定目标。

数据安全：包含数据加密、数据隔离和销毁、数据防篡改、隐私保护（数据脱敏）、数据访问控制和数据防泄漏等。其中数据加密，包含数据在传输过程中的加密、在存储时的加密；边缘计算的数据防泄漏与传统的数据防泄漏有所不同，边缘计算的设备往往是分布式部署，需要特别考虑这些设备被盗以后，相关的数据即使被获得也不会泄露。

应用安全：主要包含白名单、应用安全审计、恶意代码防范、WAF（Web应用防火墙）、沙箱等安全功能。其中，白名单是边缘计算架构中非常重要的功能，由于终端的海量异构接入，业务种类繁多，传统的IT安全授权模式不再适用，往往需要采用最小授权的安全模型（例如白名单功能）管理应用及访问权限。

安全态势感知、安全管理与编排：网络边缘侧接入的终端类型广泛，数量巨大，承载的业务繁杂，被动的安全防御往往不能起到良好的效果。因此，需要采用更加积极主动的安全防御手段，包括基于大数据的态势感知和高级威胁检测，以及统一的全网安全策略执行和主动防护，从而更加快速响应和防护。再结合完善的运维监控和应急响应机制，则能够最大限度保障边缘计算系统的安全、可用、可信。

身份和认证管理：身份和认证管理功能遍布所有的功能层级。但是在网络边缘侧比较特殊的是，海量的设备接入，传统的集中式安全认证面临巨大的性能压力，特别是在设备集中上线时认证系统往往不堪重负。在必要的时候，去中心化、分布式的认证方式和证书管理成为新的技术选择。

3.6 部署视图

部署视图涉及边缘计算系统的技术表示，以及实现功能视图所需的技术和系统组件。部署视图描述了边缘计算系统的一般架构，其结构和组件的分布，以及它们相互连接的拓扑，对其组件的技术描述，包括接口、协议、行为和其他属性，以及使用视图中确定的活动到功能组件的实现映射，以及从功能组件到实现组件的实现映射。同时，边缘计算系统的部署受到业务视图的指导，包括系统需求，系统成本、部署周期、业务策略、法律约束等。

边缘计算三层架构模式包括现场层、边缘层和云计算层，如图所示。

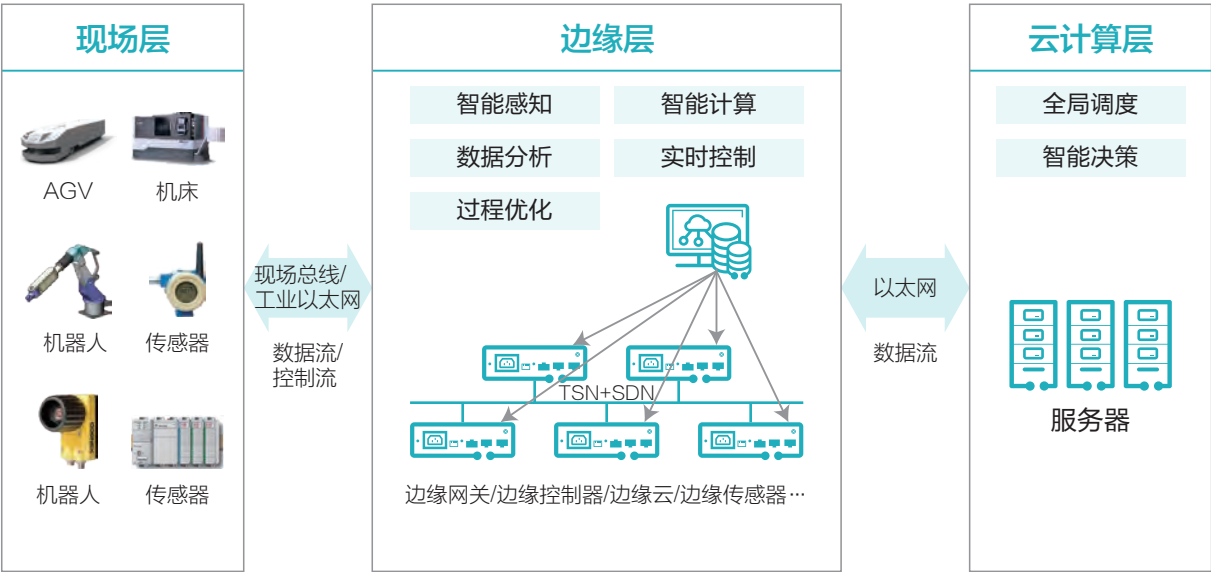


图17 边缘计算的部署视图



现场层

现场层是接近网络连接传感器、执行器、设备、控制系统和资产等现场节点。这些现场节点通过各种类型的现场网络和工业总线与边缘层中的边缘网关等设备向连接，实现现场层和边缘层之间数据流和控制流的连通。网络可以使用不同的拓扑结构，边缘网关等设备充当用于将一组现场节点彼此连接以及连接到广域网络的桥梁。它具有到集群中的每个边缘实体的直接连接，允许来自边缘节点的流入数据和到边缘节点的流出控制命令。

边缘层

边缘层是边缘计算三层架构的核心。它接收、处理和转发来自现场层的数据流，提供智能感知、安全隐私保护、数据分析、智能计算、过程优化和实时控制等时间敏感服务。边缘层包括边缘网关/边缘控制器/边缘云/边缘传感器等计算存储设备和时间敏感网络交换机/路由器等网络设备，封装了边缘侧的计算、存储和网络资源。边缘层还包括边缘管理器软件，主要是提供业务编排或直接调用的能力，操作边缘计算节点完成任务。

云计算层

云计算层提供决策支持系统，以及智能化生产、网络化协同、服务化延伸和个性化定制等特定领域的应用服务程序，并为最终用户提供接口。云计算层从边缘层接收数据流，并向边缘层、以及通过边缘层向现场层发出控制信息，从全局范围内对资源调度和现场生产过程进行优化。



04/ECC产业发展与商业实践

4.1 ECC产业发展总体概况

边缘计算产业联盟Edge Computing Consortium (ECC) 是业界聚焦边缘计算领域最大的联盟组织, 成员数量突破200+家, 包括包括华为、英特尔、ARM、中国信息通信研究院、中国科学院沈阳自动化研究所、博世、中国移动、霍尼韦尔、ABB、施耐德、迅达、Infosys、三菱、和利时 (HollySys)、Fraunhofer FOKUS、McAfee、360、NI、OSISoft等业界知名厂商。边缘计算产业联盟(ECC)致力于搭建边缘计算产业合作平台, 推动OT和ICT产业开放协作, 促进边缘计算产业健康与可持续发展。

为了促进边缘计算产业的蓬勃发展以及在行业的快速应用, ECC已经与多个产业组织建立了正式联系与合作, 包括工业互联网联盟 (IIC)、工业互联网产业联盟 (AII)、中国自动化学会(CAA)、SDNFV产业联盟、Avnu Alliance、国际半导体照明联盟 (ISA)、车载信息服务产业应用联盟 (TIAA) 等。

4.1.1 ECC产业组织合作

- » 2017年4月, 与SDNFV产业联盟签订合作协议, 计划在标准、测试床、产业发展上加强合作;
- » 2017年6月, 与工业互联网联盟 (IIC) 签订合作MOU, 双方建立正式组织级合作关系, 在边缘计算技术、测试床及营销推广上达成产业共识。联盟成员华为在IIC发起成立Networking TG, 并在Edge Computing TG承担 Co-Chair职位;
- » 2017年8月, 与中国自动化学会 (CAA) 签订合作协议, 在中国自动化学会下成立边缘计算分委会, 共同推动OT和ICT产业开放协作, 孵化行业最佳实践应用;
- » 2017年11月, 与Avnu Alliance签订合作MOU, 双方将共同识别和分享IIoT业界最佳实践; 加强在标准、测试床和研发项目上的合作; 通过协调架构实现互操作性;
- » 2017年11月, 将与工业互联网产业联盟 (AII) 签订合作协议, 在架构、标准、测试床和市场推广上加强合作;
- » 2018年4月, 汉诺威工业展, 与20+伙伴发布OPC UA over TSN 6大场景;
- » 2018年5月, AII 联合华为等, 发布中国第一个OPC UA over TSN测试床;
- » 2018年9月, 中国移动加入边缘计算产业联盟;
- » 2018年10月, 华为、和利时、沈自所等联合与ARM完成高层开源工作会议, 对齐各方在开源方面的诉求和下一步工作举措;

4.1.2 ECC标准组织合作

- » 2017年3月, 在IEEE推动边缘计算成为P2413 (Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things) 重要内容之一;
- » 2017年5月, 在IEC/ISO JTC1 SC41推动成立边缘计算研究组, 由华为与中国电子技术标准化研究院 (CESI) 担任主席, 将边缘计算纳入标准范围;
- » 2017年7月, 与中国电子技术标准化研究院 (CESI) 合作, 在中国制造2025标准体系中推进边缘计算架构与技术的应用;
- » 2017年9月, 华为与Fraunhofer FOKUS牵头输出IEC Vertical Edge Intelligence白皮书并正式发布;
- » 2017年9月, 与国际半导体照明联盟 (ISA) 联合成立智慧路灯委员会, 共同制定智慧照明技术标准, 通过边缘计算使能解决方案创新;
- » 2017年11月, 与车载信息服务产业应用联盟 (TIAA) 成立联合工作组, 推动边缘计算相关技术及解决方案在商用车及特种车的规模应用;
- » 2018年8月, 华为与海尔、国家电网合作, 在IEC SMB搭建边缘计算联合测试床, 并于2018年10月在韩国釜山IEC会议上进行演示;



4.2 边缘计算的商业实践

边缘计算通过与行业使用场景和相关应用相结合，依据不同行业的特点和需求，完成了从水平解决方案平台到垂直行业的落地，在不同行业构建了众多创新的垂直行业解决方案。

1) 梯联网

梯联网利用物联网，边缘计算技术实现分散部署的电梯远程数据采集，预测性维护。电梯中多150+传感器，几秒钟采集一次数据，几十万台电梯数据量非常大，消耗LTE数据流量很高。需要边缘处理。在网络中断时，边缘计算可就近处理紧急告警。边缘计算与云协同实现策略更新，使能边缘设备更智慧。



图18 梯联网方案总体架构图

华为梯联网网关支持容器，客户在容器中部署安全APP，数据采集APP，数据分析APP，设备诊断APP，设备管理APP，边云协同APP，实现边缘计算。设备的重要数据传送上云之后，在云端进行大数据分析，实现电梯的预测性维护分析。

通过部署基于边缘计算的梯联网解决方案，迅达提升了维护效率30%，降低电梯故障停机次数50%。实现了电梯维护状态全程可视化，维护作业移动化，专家经验远程复用，有效提升了维护效率。



2) 工业机器人

随着制造业万物互联的大趋势，控制系统不仅承担着下层执行设备的任务，同时也被要求能够具备信息化功能，实行生产现场数据的收集反馈，助力实现人、机器、系统之间的智能化、交互式无缝衔接。

工业生产现场数据具有很大的体量，并具有实时性需求。传输大量的原始数据通常会给网络带来较大的负担。因此，通常在数据源附近处理数据更为行之有效，这样就可以只向云中心发送有价值的信息。

柔性化、定制化生产是未来工厂基本特点之一。这要求运营技术（OT，operational technology，PLC、SCADA等）和信息技术（IT，MES、ERP等）进一步深度融合。边缘计算正是位于IT和OT之间的一个接口。

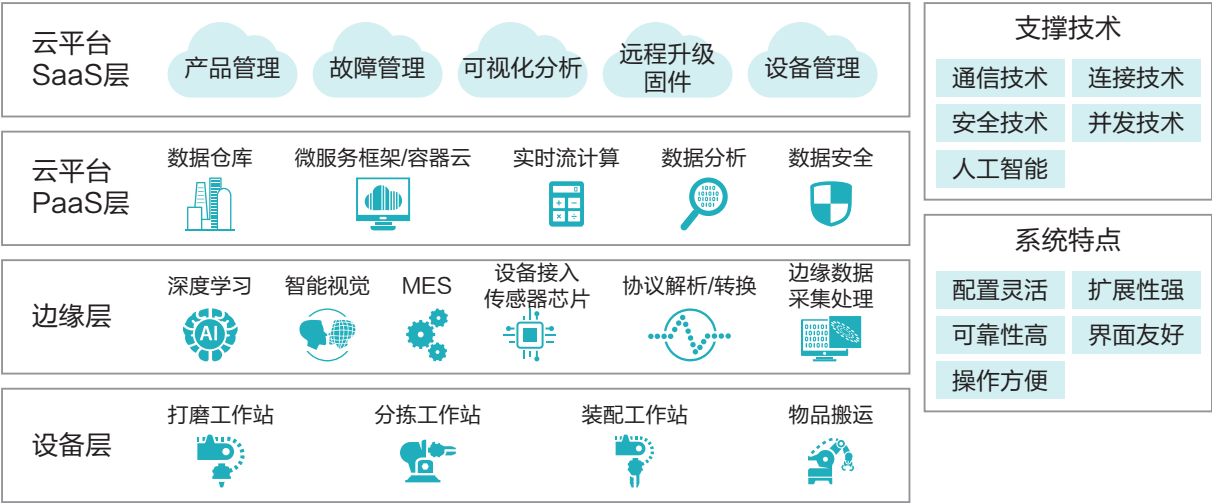


图19 基于边缘计算的工业机器人智能制造解决方案框架图

为了解决以上问题构建如图所示的网络框架，利用“端-边-网-云”灵活部署的特点，将对实时性要求高、数据量要求小的功能部署在边缘侧，将对实时性要求低、数据量要求大、计算量要求高的功能和服务部署在云端。由边缘节层组成的网络通过协作实现对本地设备层的机器人、传感器、自动化设备的数据接入，提供数据采集、深度学习（小规模）、智能视觉、MES等服务。由边缘侧接入云端，实现大量、异地分布的机器人数据接入，构建基于机器人运行数据、工艺数据的大数据库，实现云端远

程产品管理、故障管理、可视化分析、远程升级、设备管理、人工智能（大规模）等服务。

基于边缘计算的“端-边-网-云”工业机器人智能制造解决方案具有灵活的部署方式，可以将各个计算、存储、网络资源分布到利用率最高的地方，既避免了资源冗余导致的浪费，又大幅提升了机器人的网络化、数字化、智能化能力，使工业机器人可以快速对接大数据、人工智能、云计算等先进信息技术。



3) 能效管理

具有系统集成、动态优化、智能交互、安全可靠等特点的智慧能源技术可以实现各领域用能技术的动态整合和优化管理，在整合能源需求侧和供应侧、协调跨区能源调度运行、优化能源管理方式等方面，具有革命性的促进作用。智慧能源技术将承担能源供需监测、平衡的职责，能源数据中心将成为系统优化、调度和决策的核心。传统的节能技改、新能源、环境治理等项目式发展陆续遭遇瓶颈，潜力收窄，成本提高，不平衡不协调问题日益突出。包括现场能源消耗数据采集困难，没有统一的标准；能源管理行业分散，没有标准化、产品化的方案可推广复制；高初始投资成本、高运营维护成本；能源管理系统目前仍属于封闭系统，很多有价值的能效数据或信息不支持进一步数据挖掘或分析。

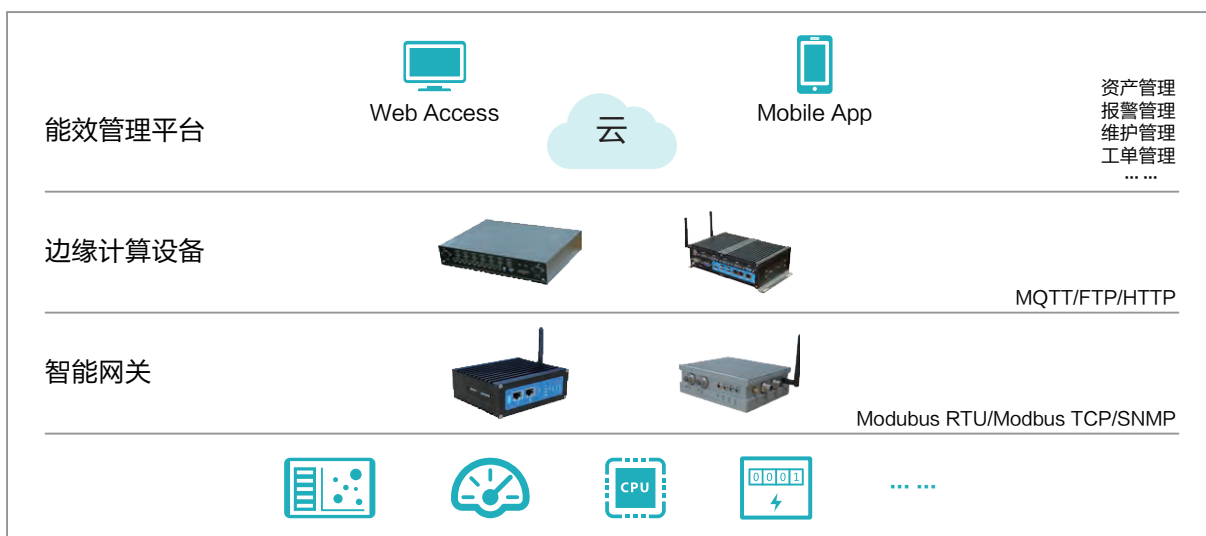


图20 基于边缘计算的端到端能效管理解决方案框架图

为了解决以上问题构建如图所示的网络框架，前端智能网关丰富的接口和功能特性，简化联接，通过先进传感技术对能耗设备进行数据采集，由于能耗设备及控制系统检测、控制、执行的实时性高，现场存在大量多样化异构数据，边缘计算设备具备本地决策制定，支持数据预处理及过滤选择，支持本地计算和设备内分析，通过数据优化实现数据的聚合、数据的统一呈现与开放；支持安全数据的加密传输，支持本地安全存储及全面的设备保护；同时支持长期、安全的远程可管理性，通过大数据远程分析与挖掘，多元化可视化交互式地展示能耗规律，简化远程设

备部署、维护和管理，支持行业标准接口，支持基于Web的配置接口。支持在计算、通信、可管理性和安全性方面的技术和业务创新。

基于边缘计算的端到端能效管理解决方案，降低设备故障解决时间，数据实时在线，提供各部门协作效率，流程更加透明。预测性维保降低停机风险和维修成本，预测性备件库存管理降低流动资金占有率。不断完善和迭代设备能耗模型，故障预测模型，最佳工况模型和保养知识等，为能效管理的资源配置和决策起到重要的指导性作用。

4) 轨道交通装备预测性维护

作为工业物联网（IIoT）的重要应用场景之一——预测性维护（PHM），已受到越来越多的企业重视。每年庞大数量的动车组为中车四方和中国铁路行业带来了巨大的运营和维护的压力。因此，中车集团开启了轨道交通装备故障预测与健康管理的（PHM）重大专项，开发针对轨道交通装备的状态监测与预测性维护系统，旨在打造针对动车组轴箱轴承的预测性维护解决方案：构建一套动车组轴箱轴承在线实时监测系统，在边缘侧进行多通道高频率的同步采集，同时将在短时间内产生的大量数据进行信号处理和特征提取后产生与设备健康状态相关的信息，并传给服务器端，做后续的进一步处理。

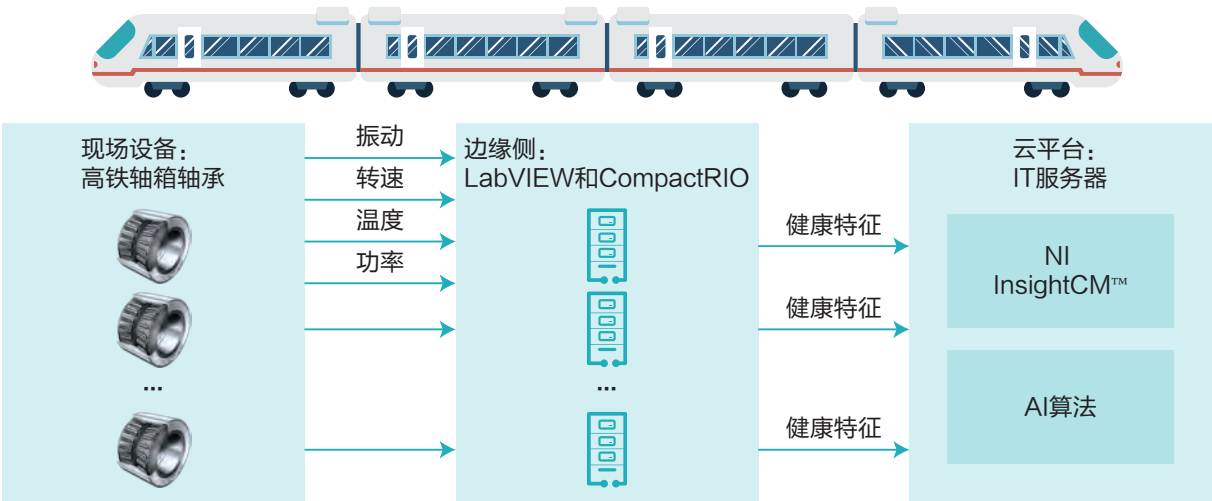


图21 基于边缘计算的轨道交通设备预测性维护系统架构

为解决上述原型化探索阶段遭遇的难题，中车青岛四方基于NI CompactRIO边缘计算平台，联合NI合作伙伴天泽智云共同打造了针对高铁的预测性维护解决方案。

项目团队采用NI InsightCMTM+CompactRIO的方案进行数据采集：根据通道数与采样频率的要求，选用cRIO-9036 + NI-9234（即CompactRIO控制器+C系列声音与振动输入模块）搭建边缘测试端设备。CompactRIO高性能平台作为边缘计算节点，其计算能力和内存分配能力用于满足多通道、高频率的数据采集；而InsightCM是NI一款用于设备在线状态监测的应用软件，适合实现分布式状态监测。

在数据处理方面，该项目还将边缘计算与云计算的优

势整合到了一起。开发团队先将工业预测性维护的AI算法引擎部署在云端，再通过InsightCM与NI的CompactRIO边缘计算节点进行对接，承载开发的算法所产生的结果，帮助用户产生对系统的认知；最后底层通过CompactRIO执行机器学习模型，以及对运算结果进行数据的交流，将运算结果通过InsightCM和Web Service进行发布。

目前，项目已经初步完成了车载PHM系统的样机开发。在动车组轴箱轴承的健康管理方面，开发了能够满足变转速和高噪声环境下的智能故障识别算法，能够实现对故障的精准识别。现在，车载PHM系统已经完成了在整车滚动试验台上的验证，对轴承故障识别的准确率很高。



5) 能源网

能源正从化石燃料向分布式可再生能源进行转移，能源消费者的角色也在向能源产销者进行转换，在新型灵活的能源网络框架下，需通过先进的传感和测量技术、通信技术、数据分析技术和决策支持系统，以实现电网的可靠、安全、经济、高效运行。目前的智能电网中已部署了大量的智能电表和监测设备。其数据结构复杂、种类繁多，除传统的结构化数据外，还包含大量的半结构化、非结构化数据。引入边缘计算的主要原因包括：1、能源发、储、配、用对数据实时性要求高；2、能源电力系统数据规模指数级的增长对通信和网络存储是个极大的考验。

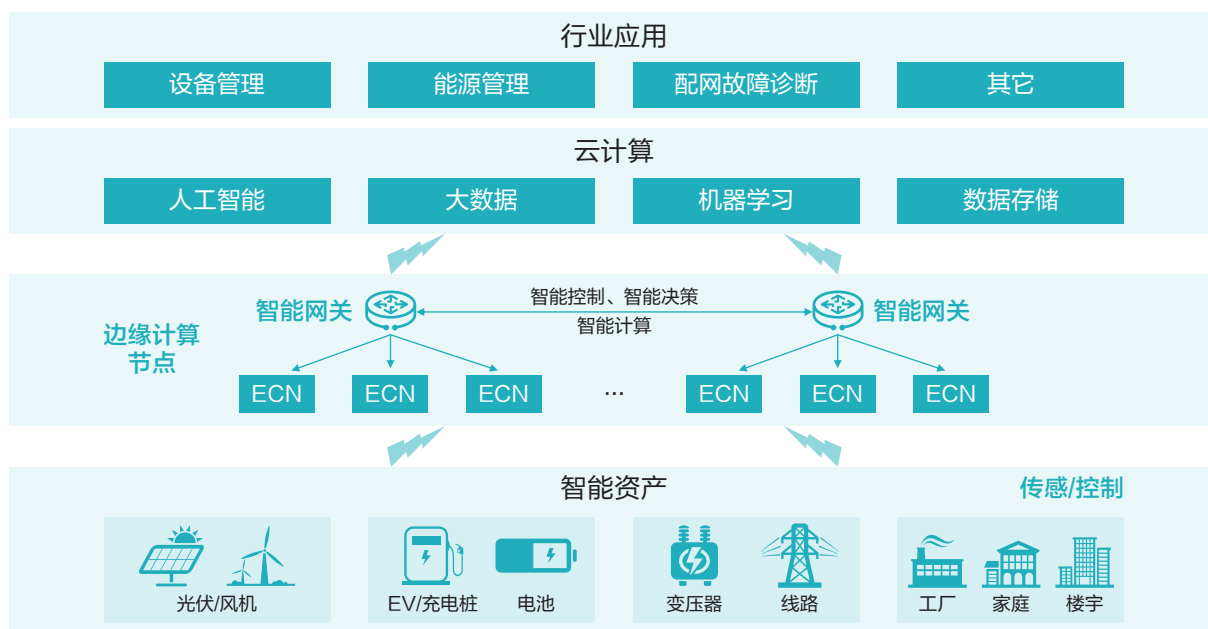


图22 能源网解决方案总体架构

为了解决上述问题，在电力设备终端/边缘侧对智能电表、监测设备采集的数据进行就地分析处理并提供就地决策，实现设备管理、单元能效优化、台区管理等功能，以提高管理效率和满足实时性要求。对于设备预测性维护等需要采用大数据技术的需在云端进行数据处理、分析和训练。训练模型可在边缘智能设备中定期更新，以提供更精准的决策。

在智慧能源系统中，根据数据需求和功能需求对系统进行分层分区，实现边缘端、边缘集群和云端的协同配合，最终提高设备的管理水平，提升综合能源管理效率，利用边缘计算技术，产生更快的服务响应，满足行业实时业务、应用智能、安全等方面的需求。

6) 智慧交通

车联网是ICT与OT技术融合的优秀案例——汽车制造商、ICT供应商、电信运行商等密切协作，让汽车变得更加安全、舒适、高效、环境友好。特别是在车载通信、车间协调驾驶（coordinated driving）、交通管理系统中，边缘计算得到了很好的应用。

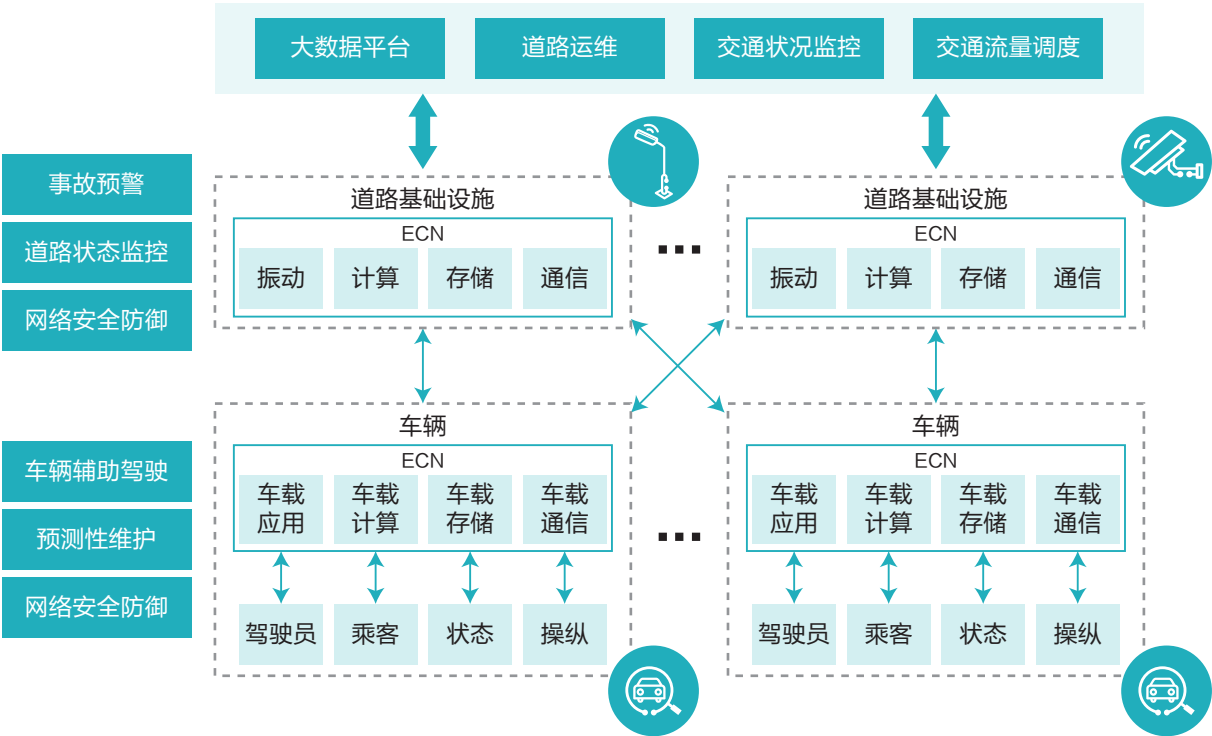


图23 智慧交通解决方案



在车载通信方面，现代化的汽车需要对车内的各个子系统进行检测与控制，这就非常依赖于车内的信息系统。例如，辅助刹车、燃油系统、方向系统、防撞系统等，都是基于信息技术的。当前，车内通讯多采用控制器车载总线（如CAN等），在不久的将来将转变为高速实时车载以太网技术（如基于TSN的TCP/IP的网络）。而汽车则成为是边缘计算节点，计算与存储发生在汽车本地。

除了车辆内部，车间协调驾驶可以通过事故预警与规避的手段，来减少事故发生的概率。汽车需要将本地通过雷达、摄像头等取得的数据与周边车辆和道路基础设施通过边缘网关进行交互，并提升感知范围，从而达到车辆间协同驾驶，为驾驶员提供碰撞预警、变道预警、自适应巡航等辅助，必要时接管汽车防止事故的发生。在车间协调驾驶中，各个车辆的计算处理分布在汽车本地，只传递经过预处理的有效信息，从而提升了有限的网络带宽的利用效率。车间通讯必须要有低延迟，对边缘侧的计算与通讯能力提出了较高要求。同时，系统要求安全可靠，边缘计算通过完善的网络连接，为通讯提供冗余路径和容错机制。

交通管理系统可以通过与车辆之间的交互，对车辆密度、速度等的感知，来引导道路上的车辆规避拥堵路段，实现交通的高效调度。在各个十字路口，边缘网关可以结合道路交通状况告知边缘云平台当前的道路状况。而边缘云则收集附近道路的信息，通过大数据算法，下发合理的道路交通调度指令，通过控制信号灯的状态、为驾驶员提供拥堵预警等手段，实现道路的最大利用率、减少不必要的停留，从而减少道路拥堵、降低燃油损耗。

边缘计算可以为智慧交通提供如下核心价值：

- » 为车载与车间通讯网络提供高可靠、低延迟、实时性的保障
- » 提升通信系统防护来自外界的网络攻击的能力
- » 道路与车辆协同运作，提高交通调度效率、降低事故发生率
- » 全方位监控车辆状态、实现预测性维护
- » 提供强大的数据分析能力，为用户提供更好的驾车体验



7) 电信级工业现场边缘计算

本案例建立在电信级工业现场边缘计算技术架构上，提供云平台到现场级边缘计算分布式平台质量可保障的外网连接，基于虚拟化技术实现灵活、隔离的应用部署能力；现场级边缘计算分布式平台采用网络实时传输技术（如TSN等）提供本地确定性时延网络，承载差异化QoS需求的新型业务，目标是提供智能、实时、安全且质量可保证的工业现场边缘计算业务及网络系统。

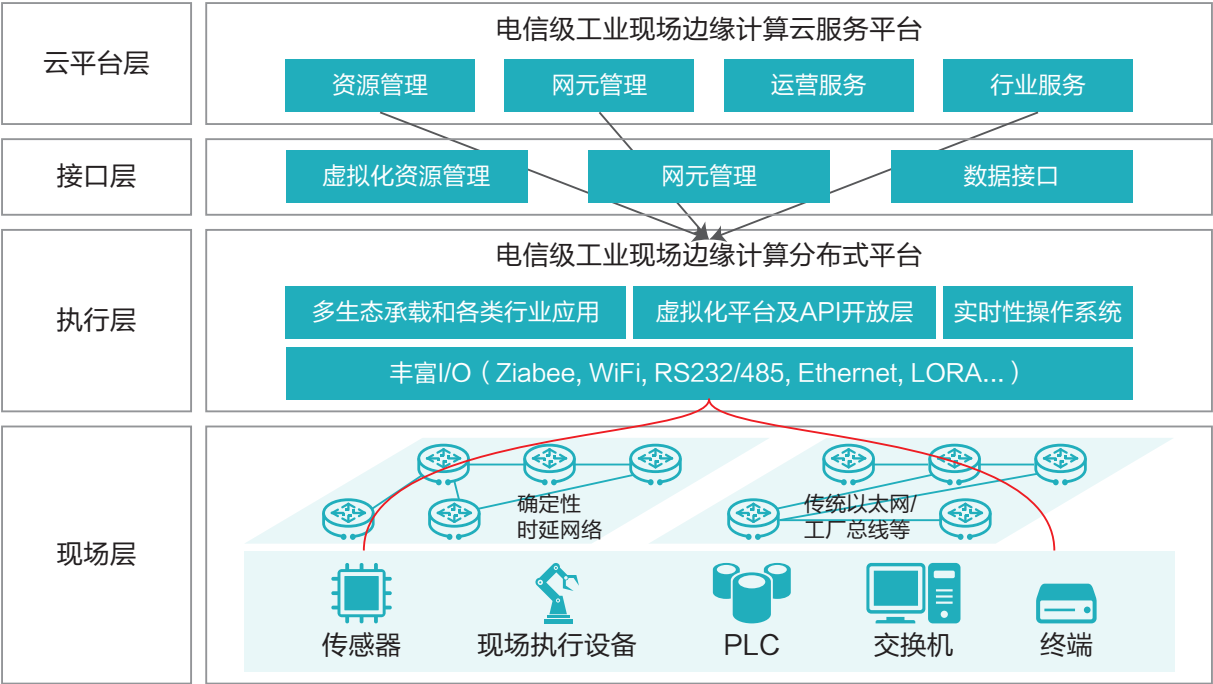


图24 面向工业互联网的现场级边缘计算框架图

电信级工业现场边缘计算分布式平台配合云平台，将会构建智能、实时以及安全的工业网络。本方案包含四类应用场景，分别是工业视觉应用、应用的远程部署和配置、协议转换以及确定性时延网络。

工业视觉应用：包含本地图像和视频识别。此场景将人工智能的Training过程保留在云平台进行，将Matching过程放在边缘计算分布式平台进行。一方面保证了边缘识别的准确率，一方面也大大降低了时延，可以给用户带来

超低时延的业务体验。具体的应用过程可以有图像和视频识别。图像识别可以应用于生产过程中的残次品检测，视频识别可以应用于指导校正工作人员在工作时的动作是否标准，例如组装货物时是否有漏掉部件的情况。

远程部署和配置：边缘计算云平台提供了管理接口和数据接口，采用轻量级虚拟化管理，如Netconf/Yang模型。可以对海量设备进行管理和部署，对应用进行远程升级和维护。



协议转换：工业网络的接入方式有多种，例如工业以太网、工厂总线等，并且每种又包含了多种协议，导致各组网之间无法互联，各种协议之间无法互通。边缘计算分布式平台可以将不同的协议（Modbus、Profinet）转换为通用协议，例如OPC UA，解决工业网络各曾经之间的互联互通问题。

确定性时延网络：时间敏感网络（TSN）发展至今已经逐步成熟，可以采用TSN技术为工业中的运动控制提供

确定性的超低时延网络传输环境，例如机器协同生产、多轴共同作业等场景。在本方案中，拟采用TSN交换机构建TSN网络并协同控制雕刻机完成雕刻作业。

此外，电信级工业现场边缘计算分布式平台还将对采集的数据进行清洗和脱敏处理，保证数据的可用性和敏感信息不被泄露，并结合芯片级的安全启动和安全密钥的认证为网络提供一个安全的环境。

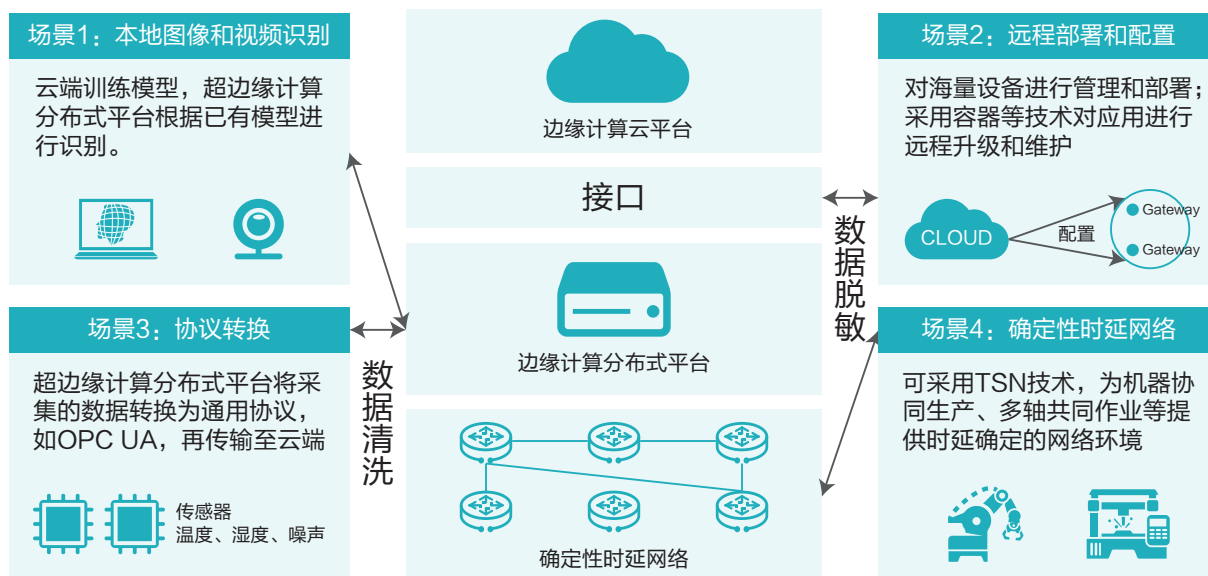


图25 面向工业互联网的现场级边缘计算应用场景

电信级工业现场边缘计算解决方案通过端到端质量可保障的网络，提供应用的远程部署和维护。边缘计算分布式平台进行确定性时延网络的配置，从而承载本地人工智能、协议转换、数据采集和预处理等业务，有效保障了边缘智能性、网络实时性、数据安全性，可提升工业生产效率。

05 附录

术语表

中文名称	英文名称	定义
云计算	Cloud Computing	云计算通常简称为“云”。通过互联网，“按使用量付费”的方式提供按需应变的计算资源（从应用到数据中心）。其部署方式包括公有云、私有云和混合云
边缘计算	Edge Computing	在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合联接、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联接、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
智能资产	Smart Asset	通过融合网络、计算、存储等ICT能力，具有自主化和协作化能力的资产（物）
智能网关	Smart Gateway	通过网络联接、协议转换等功能联接物理和数字世界，提供轻量化的联接管理、实时数据分析及应用管理功能的网关
智能系统	Smart System	基于多个分布式智能网关、服务器的协同构成智能系统，提供弹性扩展的网络、计算、存储能力
智能服务	Smart Service	基于模型驱动的统一服务框架，面向系统运维人员、业务决策者、系统集成商、应用开发人员等多种角色，提供开发服务框架和部署运营服务框架
软件定义网络	Software-Defined Networking	SDN是一种新型的网络架构，它将网络控制平面和转发平面分离，采用集中控制替代原有分布式控制，并通过开放和可编程接口实现“软件定义”
实时以太网	Time-Sensitive Networking	国际标准组织IEEE制订了TSN(Time-Sensitive Networking)系列标准，针对实时优先级、时钟等关键服务定义了统一的技术标准，是工业以太网联接未来的发展方向
异构计算	Heterogeneous Computing	是将不同类型指令集和不同体系架构的计算单元协同起来的新计算架构，即异构计算，以充分发挥各种计算单元的优势，实现性能、成本、功耗、可移植性等方面的均衡
时序数据库	Time Series Database	时序数据库TSDB（Time Series Database）是存放时序数据（包含数据的时间戳等信息）的数据库，并且需要支持时序数据的快速写入、持久化、多纬度的聚合查询等基本功能
互操作	Interoperability	是指两个或多个系统之间交换信息，能够相互理解信息的含义，并在操作上能够相互协同
信息模型	Information Model	是对数据的语义提供概念、关系、约束、操作的模型化表示，实现信息的可共享、可组织。



参考文献

- 01 Margaret Chiosi, AT&T, Don Clarke, Peter Willis, Andy Reid, BT, Dr. Chunfeng Cui, Dr. Hui Deng, China Mobile, ect. “Network Functions Virtualization – Introductory White Paper”
- 02 Weisong Shi, Fellow, IEEE, Jie Cao, Student Member, IEEE, Quan Zhang, Student Member, IEEE, Youhuizi Li, and Lanyu Xu, “Edge Computing: Vision and Challenges”
- 03 IEC Vertical Edge Intelligence Whitepaper, <http://www.iec.ch/whitepaper/edgeintelligence>
- 04 时序数据库系列文章
http://www.infoq.com/cn/articles/hierarchical-storage-of-sequential-databases?utm_campaign=rightbar_v2&utm_source=infoq&utm_medium=articles_link&utm_content=link_text
- 05 IEC 62443-3-3:2013, Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-3: system security requirements and security levels
- 06 OPC Unified Architecture Specification – Part 1: Overview and Concepts. OPC Foundation
- 07 IEEE Time-Sensitive Networking Task Group, <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>
- 08 Software-Defined Networking (SDN) Definition, <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>
- 09 Open Container Initiative, <https://www.opencontainers.org/about.html>
- 10 Vertical Edge Intelligence white paper, http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/IEC_WP_Edge_Intelligence.pdf
- 11 Model-Driven Engineering https://en.wikipedia.org/wiki/Model-driven_engineering
- 12 Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0 , Online at: <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/v1.0/soa-rm.pdf>

缩略语表

缩略语	英文名称	中文名称
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AR	Augmented Reality	增强现实
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	应用集成电路
CCF	Connectivity and Computing Fabric	联结计算Fabric
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	基带冲突检测的载波监听多路访问技术
CNC	Computer Numerical Control	数控机床
CPS	Cyber-Physical System	信息物理系统
CRUD	Create/Retrieve/Update/Delete	增加/读取查询/更新/删除
CT	Communication Technology	通信技术
DCS	Distributed Control System	分布式控制系统
DDoS	Distributed Denial of Service	分布式拒绝服务
DDS	Data Distribution Service	数据分发服务
DIKW	Data Information Knowledge Wise	DIKW知识模型
ECC	Edge Computing Consortium	边缘计算产业联盟
ECN	Edge Computing Node	边缘计算节点
ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划
EVF	Edge Virtualization Function	边缘虚拟化功能
FPGA	Field – Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
HC	Heterogeneous Computing	异构计算
HDD	Hard Disk Drive	硬盘驱动器
HMI	Human Machine Interface	人机界面接口
ICT	Information and Communication Technology	信息通信技术
II	Industry Intelligence	行业智能
IIC	The Industrial Internet Consortium	美国工业互联网产业联盟



缩略语	英文名称	中文名称
IPS/IDS	Intrusion Prevention System/ Intrusion Detection Systems	入侵检测和防护系统
IT	Information Technology	信息技术
MAC	Media Access Control	媒体访问控制
MDE	Model-Driven Engineering	模型驱动
MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
OICT	OT & ICT	运营技术与信息通信技术
OPC UA	OPC Unified Architecture	OPC统一架构
OS	Operating System	操作系统
OT	Operation Technology	运营技术
PC	Policy Controller	策略控制器
PE	Policy Executor	策略执行器
PLC	Programmable Logic Controller	可编程控制器
QoS	Quality of Service	服务质量
REST	Representational State Transfer	表述性状态传递
SDN	Software-Defined Networking	软件定义网络
SF	Service Fabric	业务Fabric
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
SO	Service Orchestrator	业务编排
SSD	Solid State Drives	固态硬盘
TLS	Transport Layer Security Protocol	安全传输协议
TSDB	Time Series Database	时序数据库
TSN	Time-Sensitive Networking	实时网络
vPLC	Virtual Programmable Logic Controller	虚拟可编程控制器
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
VR	Virtual Reality	虚拟现实



关注边缘计算产业联盟
请扫二维码

版权所有 ©

本白皮书版权属于边缘计算产业联盟与工业互联网产业联盟共同所有，本文档包含受版权保护的内容，非经本联盟书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



为边缘计算产业联盟（ECC）的商标。



为工业互联网产业联盟（AII）的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

边缘计算产业联盟

地址：北京市海淀区上地十街辉煌国际5号楼1416

邮编：100085

网址：<http://www.eccconsortium.net>

邮箱：info@eccconsortium.net

电话：010-57116299

工业互联网产业联盟

地址：北京市海淀区花园北路52号

邮编：100191

网址：<http://www.aii-alliance.org>

邮箱：aii@caict.ac.cn

电话：010-62305887