



基于云原生的分布式物联网操作系统架构研究

陈楠, 赵建军, 钟平, 黄勇军, 陈天
(天翼物联科技有限公司, 广东 广州 510335)

摘要: 物联网面临应用开发复杂、终端碎片化、网络制式多样、边缘形态多样等难题, 在对物联网行业及技术演进趋势分析的基础上, 将物联网操作系统的概念从传统物联网终端操作系统延伸至边缘和云侧, 创新地提出基于云原生的分布式物联网操作系统定义及功能架构, 并分析了云原生等 8 个核心特征, 该系统可屏蔽智能物联网应用所涉及的云(平台)、边缘网关、终端等海量异构资源的复杂性和差异性, 为智能物联网应用开发、部署、托管提供一站式全生命周期支撑。最后给出基于云原生的分布式物联网操作系统 CTWing OS 研发、测试与应用情况。

关键词: 智能物联网; 操作系统; 分布式; 云原生

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022144

Research on cloud native based distributed IoT operating system architecture

CHEN Nan, ZHAO Jianjun, ZHONG Ping, HUANG Yongjun, CHEN Tian
E-Surfing Internet of Things Technology Co., Ltd., Guangzhou 510335, China

Abstract: Complex application development, various types of IoT devices, diverse network technology and different types of IoT edge are the major problems of IoT. The novel concept and architecture of the cloud native based distributed IoT operating system were proposed with 8 core features, which extended the scope of operating system from IoT devices to the edge and cloud, followed the trend analysis of IoT industry and technology. The cloud native based distributed IoT operating system has been utilized to decoupling the complexity and differences of massive heterogeneous resources of cloud (platform), edge gateway, devices and the one-stop full life cycle support of intelligent Internet of things applications development, deployment and hosting. The research and development practices of CTWing OS as well as testing and applications were also introduced.

Key words: AIoT, operating system, distributed, cloud native

0 引言

人机物融合的泛在计算需要泛在操作系统的支持^[1]。物联网作为泛在计算的重要场景, 受到

业界关注。随着万物智联时代的到来, 亟须一个可以整合端、边、网、云、数、智能力的新型物联网操作系统解决困扰物联网行业规模发展的物联网终端多样性、应用长尾与碎片化行业难题^[2]。

本文基于对物联网行业发展阶段及技术发展趋势的分析与判断,创新地提出了基于云原生的分布式物联网操作系统概念。

1 物联网操作系统概念的演进

自1991年美国麻省理工学院(MIT) Kevin Ash-ton 教授首次提出物联网的概念至今,在需求与技术的双重驱动下,物联网的内涵与外延持续演进。物联网操作系统作为连接物联网资源与应用的核心枢纽,随着物联网应用场景的扩展、技术的迭代,在局域物联网、广域物联网、智能物联网等不同阶段,物联网操作系统的概念也在不断演进。

1.1 局域物联网阶段

局域物联网主要面向近距离、移动性要求不高的场景,基于射频识别(radio frequency identification, RFID)^[3]、近场通信(near field communication, NFC)、Wi-Fi、蓝牙等近域通信技术,以各式传感器等感知层设备为核心,构建垂直一体化的应用与解决方案。相对而言,用户规模、终端设备数量及应用复杂度都相对有限^[4-5]。此阶段业界重点关注物联网终端操作系统,一般认为包括嵌入式操作系统及实时操作系统等,通过操作系统实现对物联网终端资源的管理和控制,并为应用提供编程接口,满足应用开发需求,避免应用直接操作底层硬件。

1.2 广域物联网阶段

以窄带物联网(narrow band Internet of things, NB-IoT)^[6]为代表的低功率广域网络(low-power wide-area network, LPWA)技术兴起及规模应用推动物联网行业迈入广域物联网阶段,无论是用户规模、连接数(设备数量)还是应用复杂度都较局域物联网呈现指数级的增长,不同行业分散的信息资源、用户资源、硬件资源及外部碎片化开发资源以平台为核心整合集中,以物联网平台、系统等为核心的水平化模式逐步取代局域物联网阶段纵向一体化模式。虽然物联

网操作系统在此阶段仍以物联网终端操作系统为主,但终端操作系统自身在系统内核的可裁剪性、可扩展性、实时性、功耗管理及外围模块的远程升级、网络连接、云端接入等方面都进行了持续迭代优化提升,另外随着物联网平台的出现与普及,终端操作系统与物联网平台间的能力协同成为此阶段的重要技术环节。在广域物联网阶段,物联网操作系统的概念由单一的物联网终端操作系统向物联网终端操作系统+物联网平台方向演进。

1.3 智能物联网阶段

以5G、人工智能、区块链、云计算、大数据、边缘计算等为代表的数字化技术的成熟及行业数字化转型的深入,推动物联网迈向万物智联新阶段,助力千行百业实现全面数字化转型。智能物联网阶段数字-运营-信息-通信技术(data-operation-information-communication technology, DOICT)高度融合,数据要素价值将极致发挥,以平台为纽带的生态价值网络逐步形成,将物理世界复刻为数字世界的数字孪生成为可能。为适应智能物联网阶段的新特点与新要求,基于云原生操作系统理念^[7-8],覆盖终端、边缘、网络、平台,融合大数据、AI等数智化能力的新型分布式物联网操作系统逐步获得业界的关注^[9-12],一种新型的面向物联网场景的泛在操作系统泛在操作系统(ubiquitous operating systems, UOS)成为可能。

1.4 物联网操作系统行业实践

目前,不少企业已结合自身特点,开展了新型分布式物联网操作系统的工程实践。

(1) 西门子 MindSphere

西门子基于云的开放式物联网操作系统,面向工业物联网(industrial Internet of things, IIoT)场景,支持企业客户实现对物理系统、Web系统及内部系统的连接与集成,提供数据分析与可视化能力,并通过合作伙伴生态提供丰富的应用,包括数字化工厂、医疗保健、能源管理、智慧城市、电



力、交通、楼宇等。

(2) 阿里云 Cloud AIoT Native

阿里云于 2021 年发布“Cloud AIoT Native”云端一体化框架,与分布式物联网操作系统理念不谋而合。Cloud AIoT Native 能力体系融合了阿里云在物联网领域端、边、云的一系列能力和产品,面向个人消费者和行业客户提供一站式物联网服务。

(3) 华为云 IoT 物联网平台(原 Ocean Connect)

华为面向各行各业的统一物联网云平台,致力于提供极简接入、智能化、安全可信的全场景服务和开发、集成、托管、运营等一站式工具服务,聚焦智慧城市、园区、车联网、交通、仓储等领域,助力客户构建场景化物联网解决方案。

2 基于云原生的分布式物联网操作系统架构

2.1 系统定义

本文创新地提出面向智能物联网发展新阶段需求的基于云原生的分布式物联网操作系统概念,该系统参照业界对操作系统的分层模型,将物联网操作系统的概念从传统物联网终端操作系

统延伸至边缘和云侧,屏蔽智能物联网应用所涉及的云(平台)、边缘网关、终端等海量异构资源的复杂性和差异性,为智能物联网应用开发、部署、托管提供全生命周期支撑。分布式物联网操作系统与计算机操作系统概念映射示意图如图 1 所示。

在计算机软件技术体系中,操作系统主要用于协调、管理、控制计算机软硬件资源,通过资源抽象屏蔽硬件的物理特性和操作细节,管理、分配和优化系统资源,提高系统资源使用效率,为用户和开发者提供方便^[13-14]。操作系统一般可分为如下两个层次。

(1) 内核态

运行在最高特权级的核心系统控制程序,以及直接面向底层硬件进行控制和监视的驱动程序,负责隐藏硬件细节,向其他模块提供通用抽象接口。

(2) 用户态

提供一系列特定功能的程序,主要有库函数、Shell 交互界面、文件系统及工具等,用于实现操作系统内核功能拓展,为上层计算机应用更好地访问、调用、使用操作系统内核功能提供支持。

如图 1 所示,基于云原生的分布式物联网操作系统遵循操作系统 3 层模型。

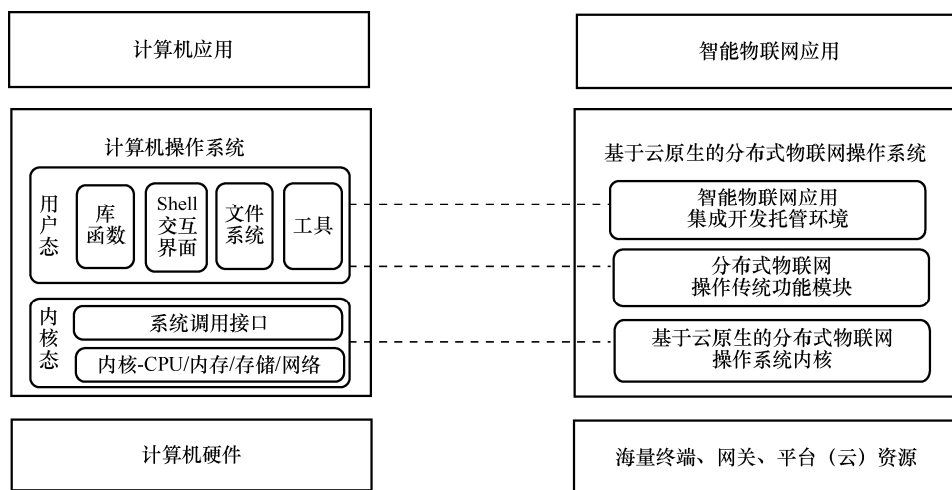


图 1 分布式物联网操作系统与计算机操作系统概念映射示意图

内核层在单机操作系统内核态面向单机硬件资源提供资源封装的基础上,基于云原生技术(云原生操作系统内核),实现对云侧、边缘和末梢(终端)等多个节点异构硬件资源的统一抽象、控制、管理与调度,屏蔽硬件差异,对上提供通用接口。

功能层面向智能物联网应用,在提供操作系统必备的基础功能基础上,一方面面向分布式节点提供协同框架,另一方面提供数智化引擎,面向应用提供语音语义识别、机器视觉等 AI 能力。

应用程序支持层除了提供传统编程接口,还可为智能物联网应用提供开发、部署、托管等一站式服务。

2.2 功能架构

基于云原生的分布式物联网操作系统(以下简称分布式物联网操作系统)功能架构如图 2 所示,整体上,分布式物联网操作系统包含系统内核、功能模块、应用集成开发环境及安全框架。

(1) 分布式物联网操作系统内核

利用以 Kubernetes 为代表的云原生技术,实现资源在分布式节点的统一调度与管理,跨越不同的云环境(混合云、分布式云、异构硬件基础

设施),为上层应用提供包含文件系统、任务管理、IO 管理、内存管理、终端管理、进程管理、通信管理、驱动程序等在内的硬件管理能力及统一抽象封装。

(2) 分布式物联网操作系统功能模块

主要包含协同框架、协议库、组件库、智能引擎、图形用户界面(graphical user interface, GUI)等。协同框架提供物联网设备、边缘与云端的交互与协同机制,提供连接管理、设备发现、设备初始化与配置、协同交互、云边端协同等功能;协议库提供从数据链路层到应用层的海量协议支持;组件库根据物联网应用的多样化需求,按需提供终端感知、安全认证、规则引擎等在内的各式功能组件;数智引擎为智能物联网应用提供数据汇聚、存储与分析应用等大数据能力及语音语义识别、机器视觉、知识图谱等 AI 能力;GUI 为各类用户(如开发者、合作伙伴、最终客户)提供个性化的用户图形界面。

(3) 分布式物联网操作系统应用集成开发环境

面向开发者提供完整的应用开发工具与环境,降低智能物联网应用的开发与运维难度。一方面,通过 OpenAPI 提供多类型、多层级、可运营的能力调用及编程接口,另一方面,提供支持

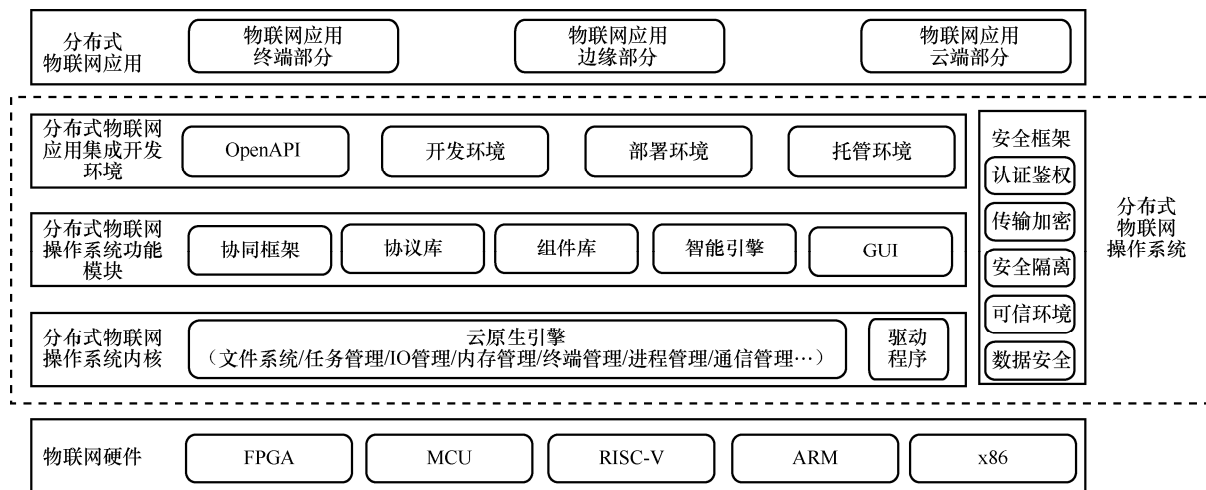


图 2 分布式物联网操作系统功能架构



零代码/低代码技术的在线拖拽式开发环境、云一端结合的集成编译环境、物云网融合的应用托管环境等。

(4) 分布式物联网操作系统安全框架

安全框架主要包括认证鉴权、传输加密、安全隔离、可信环境和数据安全等。安全框架能够提供安全运算 API 形成安全应用开发环境,便于物联网应用集成。安全隔离、可信环境提供操作系统内核安全隔离和安全应用可信运行环境,结合数据安全组件,保障物联网敏感信息存储、敏感操作隔离^[15]。

3 基于云原生的分布式物联网操作系统八大核心特征

3.1 云原生

云原生“以应用为中心”,定义了全新的云上应用开发、交付、运营范式,让应用最大限度地利用云的能力、发挥云的价值^[7-8]。分布式物联网操作系统以云原生作为底层核心技术,解决海量异构资源的高效管理调度及应用的敏捷开发等关键问题。

(1) 云原生基础设施

基于 Kubernetes 等开源技术,实现对云基础设施资源的统一容器化抽象、多元算力、软硬协同及泛在计算,通过对资源的智能调度、敏捷运维,使资源的利用更智能、高效。

(2) 云原生应用框架

通过微服务、Serverless 等技术,将应用拆分为能独立运行,满足客户需求的独立模块,使应用高内聚、低耦合、高可用与弹性。

(3) DevOps (研发运维一体化)

以 DevOps 为核心的研发运维一体化模式,实现开发运维的抽象化、模板化、自动化、智能化,提供统一的代码托管、构建、集成、测试、发布、上线工具和环境,满足智能物联网应用敏捷开发、快速交付的要求。

3.2 云边端协同

基于云原生的分布式物联网操作系统实现海量规模、地理分散的物联网终端、网关与云端系统及应用间的协同。

(1) 网络协同

一方面利用高效的网络接口、软件定义网络 (software defined network, SDN) 及网络编排技术实现终端本地网络、入云 (平台) 网络、应用接入网络的智能感知与协议转换,确保多类型、多协议、多平面网络的智能协同;另一方面通过以 5G 为代表的新一代泛在连接技术实现“一网通达”。

(2) 资源协同

基于容器资源编排、函数计算等技术,对多点分布 (云、边、端) 的海量资源进行池化管理与统一调度,一方面实现海量终端、边缘节点资源的轻量化协同计算,另一方面实现终端、边缘、云端资源的全局按需调度,统一编排管理及算力模型协同。

(3) 数据协同

应用时序数据库、边缘流数据分析、协议转换等技术,实现边缘侧海量异构、动态数据的处理分析,实时感知终端状态;应用数据清洗、格式转换等预处理技术,剔除冗余数据,降低云边数据协同负载;应用机器学习、深度学习等技术,实现云端训练、边缘推理的智能云边数据分析,保障数据训练质量,提升数据应用成效。

(4) 应用协同

一方面,云端提供应用开发、测试、部署与托管环境,边缘和终端侧按需实现应用 (模块) 的加载,另一方面,云边协同提供多应用承载、调用与编排的能力。特别地,对于 AI 能力,一方面云端实现算法模型的训练,端边基于训练的算法模型提供 AI 推理;另一方面,利用微型机器学习 (TinyML)、联邦学习、隐私计算等技术实现分布式普惠 AI 能力。

3.3 泛在连接

以 5G 为代表的泛在连接技术以及网络智能连接、网络智慧运营等在智能物联网时代得到快速发展, 分布式物联网操作系统应提供基于 5G 的泛在网络连接、智能连接管理及网络智慧运营能力。

(1) 泛在网络连接

以 5G 技术为代表, 通过统一的技术制式面向增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、超可靠低时延通信 (ultra-reliable and low-latency communication, URLLC)、大连接物联网 (massive machine-type communication, mMTC) 等差异化场景提供泛在网络承载, 网络连接可根据差异化的场景需求实现一定程度的自适应性, 以适应跨地域、跨空域、跨海域等多种业务场景空天地海一体化覆盖的要求。

(2) 智能连接管理

基于网络功能虚拟化 (network functions virtualization, NFV)、软件定义网络等技术, 实现网络资源的敏捷部署与弹性伸缩; 通过优先级流控、确定性网络、应用感知等技术, 提供确定性的网络质量保障; 通过网络云化 DevOps 等技术, 实现网络连接业务和应用的快速交付和自动化运营; 面向复杂客户需求场景, 提供定制化的网络基础连接能力及流量池、定位等增值服务。

(3) 网络智慧运营

基于网络数字孪生、自动驾驶、意图自治、随愿网络等技术, 实现异常检测、容量预测、网络优化、根因分析、告警预测、故障自愈、业务编排、感知优化等功能, 满足网络智能运营要求。

3.4 泛在终端感知

分布式物联网操作系统解决海量异构终端的快速适配接入、统一管理、智能感知与智慧运维, 提供面向数字孪生与智能协同的泛在终端感知能力。

(1) 泛在终端适配

云端实现 2G/3G/4G/5G 及 ZigBee、蓝牙等网络制式, 消息队列遥测传输 (message queuing telemetry transport, MQTT)、轻量级机器到机器 (lightweight machine-to-machine, LWM2M) 等多种主流物联网终端接入协议, 多种安全认证方式的智能适配与自定义解析, 提供泛网络制式、多通信协议、多功能场景海量设备可信接入能力。

(2) 海量终端管理

对接入的海量终端提供统一的全生命周期管理, 支持设备注册激活、指令下发、远程配置、分权分域、设备分组、信息统计、设备删除、设备影子等能力。

(3) 多维数据感知

利用物模型等技术手段对终端/网关侧采集的状态和业务数据进行实时解析, 利用时序数据库、消息队列等技术对解析后的数据进行存储汇聚与智能分析。

(4) 终端智慧运维

利用终端状态动态感知、全链路日志分析及设备在线模拟等技术, 提供智能化设备监控、日志服务、告警管理、固件空中升级 (firmware over the air, FOTA)/软件空中升级 (software over the air, SOTA)、消息追踪等能力。

3.5 应用一站使能

分布式物联网操作系统提供覆盖应用全生命周期的应用一站式使能能力, 解决智能物联网应用开发复杂度高的难题, 加速应用开发与落地部署。

(1) 通用应用使能

为应用提供基础 PaaS 组件、能力调用网关 (API 网关) 等共性基础能力, 减少应用开发难度。在基础平台即服务 (platform as a service, PaaS) 组件方面, 为应用提供规则引擎、数据库、消息中间件、缓存、日志等; 在能力调用网关方面, 提供 API 网关及第三方能力调用与运营能力。



(2) 应用在线开发

基于零代码/低代码开发、可视化开发技术,为应用开发者提供包括终端、应用、服务在内的一站式开发环境,提供丰富框架、调试开发工具、控件与服务,通过拖拽、配置的方式快速搭建智能物联网应用,实现应用敏捷开发与交付。

(3) 应用云化托管

实现统一的应用托管环境,提供应用、工程、代码、镜像、服务、运维的统一管理,实现开发的工程分类管理和代码版本库管理,应用可按需灵活部署在云侧、边缘侧及终端侧或其组合。

(4) 垂直行业应用使能

面向各类行业场景对共性能力进行场景化组件能力研发与封装,面向各类场景通过组件调用,形成“乐高积木”式能力的快速调用与组合,赋能物联网行业解决方案。

3.6 端云协同的物联网终端操作系统

端云协同的物联网终端操作系统提供面向终端设备资源的管理和控制及面向应用的统一编程接口,通过集成云端接入组件和传感网络,实现端云协同与数据共享,提升物联网的生产效率。

(1) 基于实时内核优化的抽象组件

针对资源受限的终端设备,物联网操作系统高度优化任务实时性、内核内存消耗、CPU 架构兼容,实现内核和组件灵活的配置和裁剪。基于实时内核构建运行组件抽象层,为其能力和服务子系统提供统一的资源调度,屏蔽不同操作系统内核。

(2) 面向物联终端的端云协同

物联网终端采用通信模组接入移动通信网络,实现终端的远程接入,与云端交互上传数据和接收控制指令。结合物联网平台和通信模组打造入云插件,支持主流通信协议 MQTT、LWM2M、HTTP 的基础上,实现接入认证、会话管理、物模型编解码等,降低开发者的入云门槛和开发周期。

(3) 以终端为核心的安全基础组件

物联网终端操作系统通常会集成一些安全组件,包括各类安全加密算法和安全传输协议、可信任的执行环境(trusted execution environment, TEE)、通用安全协议库 Crypto、身份认证协议等。这些安全协议可以帮助开发人员提升物联网应用的安全性,减少终端设备被攻击的风险。

3.7 物联网大数据

数据是智能物联网的核心要素,分布式物联网操作系统物联网大数据能力实现多源异构数据的高效接入,形成高质量的物联网原生大数据湖,提供数据分析、数据离线/实时开发编排、数据资产管理、数据开放等服务,为应用提供智能数据服务。

(1) 数据汇聚

支持异构数据源间的数据实时同步,从源数据库并行监听增量变更存储到分布式消息中间件,通过通道规则过滤、转换和加密写入目标数据源,监听主从切换,保障实时汇聚持续有效。

(2) 数据离线/实时开发

基于 Hadoop 等开源技术,提供基于多租户权限模型的离线开发,通过可视化能力实现多租户离线数据在线编排、开发与测试,利用分布式调度技术提供任务的调度控制、任务依赖关系维护及血缘关系管理。应用流处理技术,对乱序事件进行处理,处理后数据可持久化到各类数据库,满足客户多样实时需求。

(3) 数据资产管理

提供数据采集、加工、使用、评估、优化、下线等数据资产全生命周期管理及数据治理、数据开发、数据资产开放运营等数据资产“管家”服务。

(4) 数据开放

提供分布式数据库、分布式文件系统等离线数据交换,通过实时处理,实现分布式消息文件、键值数据库、时序数据库等实时数据开放。

(5) 数据智能服务

提供数据可视化服务, 对物联网各行业数据的可视化分析卡片加工, 为物联网租户提供数据可视化能力。

3.8 端到端安全

分布式物联网操作系统提供贯穿“端—管—云—用—数”全领域的物联网安全防护能力。

(1) 终端层安全

终端层安全主要提供接入安全、硬件安全和操作系统安全等。接入安全多采用轻量级安全应用插件结合密码算法实现终端接入的双向身份认证和数据通信加密; 硬件安全主要是将身份识别、认证逻辑固化在硬件中, 通过可信环境及安全芯片、安全 SIM (subscriber identity module) 卡、安全模组等加密单元实现加密算法、密钥和敏感数据的硬件安全防护; 操作系统安全涉及系统资源调度的安全调度技术、监控告警技术等。

(2) 网络层安全

传统网络层安全大部分适用于物联网领域, 涉及防火墙、访问控制策略、防分布式拒绝服务攻击 (distributed denial of service, DDoS) 等, 此外还可以通过专网专线、网络定向访问 (流量、短信、语音)、虚拟专用网络 (virtual private

network, VPN) 等技术确保信息在网络中传递和处理的安全, 从网元侧进行限制, 防止恶意攻击行为, 避免异常流量损耗。

(3) 平台层安全

平台层安全主要保护物联网信息和数据的计算和存储安全, 通过租户隔离技术、分级保护技术、防病毒技术保障虚拟化安全; 通过加密通信、网络隔离、边界防护技术实现传输安全; 通过加密存储、访问控制实现数据安全。

(4) 应用层安全

应用层安全主要保障各类应用在使用过程中的安全, 包括对用户的身份鉴别、访问控制、应用漏洞管理、攻击防护、Web 状态监测、App 安全、隐私保护等技术。

随着技术的发展, 区块链、量子加密等创新技术将与物联网应用结合, 提升物联网端到端安全可信能力。

4 CTWing OS 研发实践

4.1 功能架构

基于云原生的分布式物联网操作系统架构自主研发了中国电信分布式物联网操作系统 (CTWing OS), 其目标功能架构如图 3 所示。

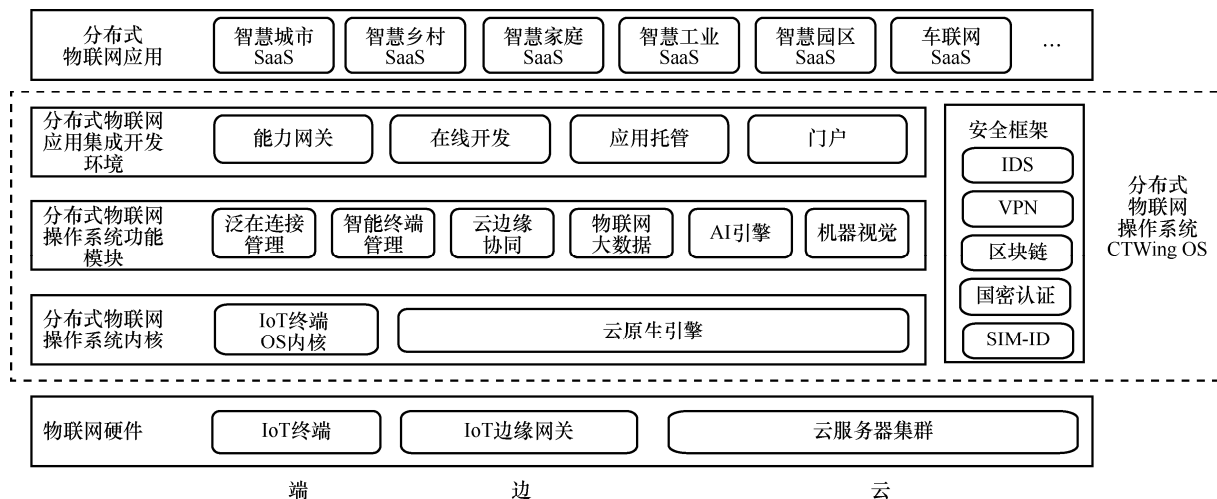


图3 分布式物联网操作系统 (CTWing OS) 目标功能架构



(1) 分布式物联网操作系统内核

基于云端接入组件软件开发工具包 (software development kit, SDK) 实现主流物联网终端操作系统与云侧系统的对接与协同; 基于行业领先的天翼云提供的边云协同云原生引擎, 实现对底层资源的统一容器化抽象、管理和编排调度, 为上层功能模块和应用等提供高性能、高弹性、可扩展的容器化部署环境。

(2) 分布式物联网操作系统功能模块

泛在连接管理提供亿级全制式融合的连接管理及网络自动驾驶能力; 智能终端管理提供对亿级海量异构感知终端的快速适配接入、统一管理、智慧运维; 云边端协同实现网络、资源、数据、应用在端侧、边缘侧、云侧的无缝协同; 物联网大数据提供 PB 级多维数据汇聚、数据资产管理、数据应用开发与开放能力; AI 引擎提供自然语言处理、语音识别及合成、光学字符识别 (optical character recognition, OCR)、知识图谱等场景化物联网 AI 能力; 机器视觉提供多协议视图终端接入与视图分析处理能力。

(3) 分布式物联网应用集成开发环境

能力网关提供系统核心能力的注册、使用、服务治理、服务管控、编排、全生命周期管理及第三方能力集成与调用; 在线开发提供物联网应用云端开发运行环境, 支持 App/Web 可视化开发, 面向各类场景提供场景化应用使能组件, 通过调用组件能力实现应用/解决方案快速交付; 应用托管基于天翼云基础设施, 面向客户提供物云融合的应用云端部署、维护管理及终端、边缘侧协同部署; 门户为各类角色提供个性化的登录和操作界面。

(4) 安全框架

在终端侧提供 SIMID (subscriber identity module identifier) 及国密安全能力, 提供多态身份认证与安全加密机制; 在网络侧提供 VPN 物联网专线等能力, 确保网络传输安全; 在应用与平台

侧利用天翼云提供原生安全防护能力; 在数据侧利用区块链等提供分布式数据安全可信能力。

4.2 部署架构

分布式物联网操作系统 (CTWing OS) 部署架构示意图如图 4 所示, CTWing OS 支持灵活部署模式。

(1) 一级部署节点

部署分布式物联网操作系统云端集约节点, 实现全网云网资源和终端的统一管理与调度、数据的统一汇聚、第三方及自有应用的开发与集约承载、第三方能力的统一接入等。

(2) 二级部署节点

按需部署分布式物联网操作系统分布式节点、私有化节点、行业节点。分布式节点实现集约节点能力按需下沉; 私有化节点为重点客户提供数据安全、系统专属的物联网系统服务; 行业节点满足行业客户个性化物联网需求。

(3) 三级部署节点

在承载海量异构物联网终端设备的物联网操作系统上按需部署入云套件, 实现终端与云端协同。

4.3 测试评估

中国赛宝实验室对 CTWing OS 的主要功能和性能指标进行了产品确认测试。CTWing OS 云边协同云原生引擎、边缘计算业务引擎、连接管理、终端接入与管理、大数据处理与分析、模块化人工智能、应用集成开发、端到端安全、物联网 OS 门户等 18 个功能子项共 97 条细项全部通过功能测试, 终端设备接入量超过 100 000 000 个, 物联网连接数量超过 100 000 000 个, 云边容器引擎接入节点数量超过 2 000 个。

4.4 应用情况

分布式物联网操作系统作为中国电信数字化平台的重要组成, 采用研发运营一体化模式, 强化科技创新, 赋能千行百业产业数字化和数字产业化转型。系统支撑中国电信作为全球首个

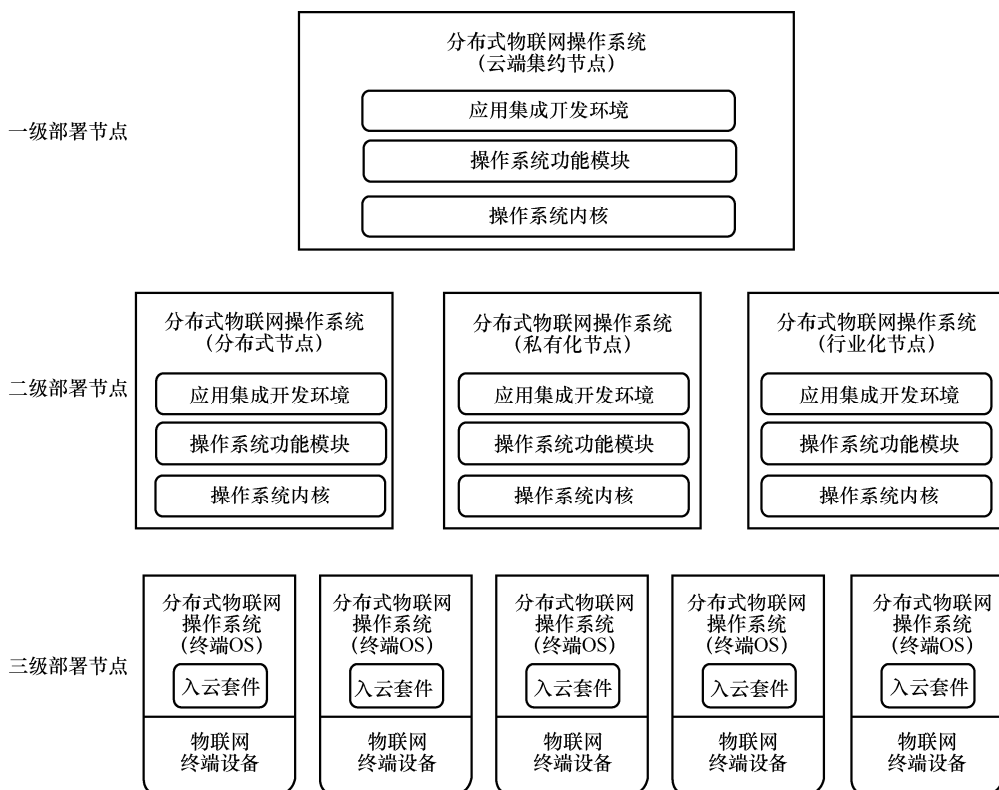


图4 分布式物联网操作系统 (CTWing OS) 部署架构示意图

NB-IoT 规模破亿的运营商面向全国客户提供智能连接服务,为“三表”等千万级“城市生命线”智慧城市应用提供应用使能服务,系统目前支持超过 1 000 款物联网终端,纳管终端数超 9 000 万,汇聚超 7 万名开发者。

5 结束语

物联网作为数字化时代的战略性技术领域,自 20 世纪末诞生以来,保持高速迭代发展。随着智能物联网新发展阶段的到来,对新型物联网操作系统的需求日益迫切,本文基于行业趋势的分析,创新地提出了基于云原生的分布式物联网操作系统,并在中国电信开展了研发实践,以期通过系统“一站式”服务解决长期困扰物联网发展的物联网终端多样性及应用长尾与碎片化难题。无论是相关技术的成熟度还是业界对新型物联网操作系统理念的接受、规模应用都是一个持续迭

代、长期探索的过程,希望本文能为行业在新型物联网操作系统领域的研发提供一些启迪,助力智能物联网发展。

参考文献:

- [1] MEI H, GUO Y. Toward ubiquitous operating systems: a software-defined perspective[J]. Computer, 2018, 51(1): 50-56.
- [2] 中国信息通信研究院. 物联网白皮书(2020 年)[R]. 2021. China Academy of Information and Communications Technology. IoT Whitepaper (2020)[R]. 2021.
- [3] 李如年. 基于 RFID 技术的物联网研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2009, 4(6): 594-597.
LI R N. Study on the Internet of things based on RFID technique[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2009, 4(6): 594-597.
- [4] 郭贺铨. 物联网的应用与挑战综述[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2010, 22(5): 526-531.
WU H Q. Review on Internet of things: application and challenges[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2010, 22(5): 526-531.



- [5] 沈苏彬, 范曲立, 宗平, 等. 物联网的体系结构与相关技术研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2009, 29(6): 1-11.
SHEN S B, FAN Q L, ZONG P, et al. Study on the architecture and associated technologies for Internet of things[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2009, 29(6): 1-11.
- [6] 戴国华, 余骏华. NB-IoT 的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016, 40(7): 31-36.
DAI G H, YU J H. Research on NB-IoT background, standard development, characteristics and the service[J]. Mobile Communications, 2016, 40(7): 31-36.
- [7] 华为技术有限公司, 中国信息通信研究院. 云原生 2.0 白皮书[R]. 2021.
HUAWEI Technologies Co., Ltd.. China Academy of Information and Communications Technology. Cloud-native 2.0 whitepaper[R]. 2021
- [8] 阿里云计算有限公司. 云原生架构白皮书[R]. 2021.
Alibaba Cloud Computing Co., Ltd.. Cloud-native architecture whitepaper[R]. 2021
- [9] 亿欧智库. 万物互联时代的操作系统研究报告[R]. 2020.
EO Intelligence. Research report on operating system in the era of IoT[R]. 2020.
- [10] 艾瑞咨询集团. 2020 年中国智能物联网 (AIoT) 白皮书[R]. 2020.
iResearch. 2020 china AIoT whitepaper[R]. 2020.
- [11] 杭州涂鸦信息技术有限公司, 高德纳咨询公司. 2021 全球 AIoT 开发者生态白皮书[R]. 2021.
Hangzhou Tuya Information Technology Co., Ltd., Gartner Group. 2021. 2021 Global AIoT developer ecology whitepaper[R]. 2021.
- [12] 吴吉义, 李文娟, 曹健, 等. 智能物联网 AIoT 研究综述[J]. 电信科学, 2021, 37(8): 1-17.
WU J Y, LI W J, CAO J, et al. AIoT: a taxonomy, review and future directions[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(8): 1-17.
- [13] 孙昊, 王洋, 赵帅, 等. 物联网之魂: 物联网协议与物联网

操作系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.

SUN H, WANG Y, ZHAO S, et al. The soul of IoT: IoT protocol and operating system[M]. Beijing: China Machine Press, 2021.

[14] Operating systems (3rd edition) [EB]. 2003.

[15] 杨庚, 许建, 陈伟, 等. 物联网安全特征与关键技术[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2010, 30(4): 20-29.
YANG G, XU J, CHEN W, et al. Security characteristic and technology in the Internet of things[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2010, 30(4): 20-29.

[作者简介]



陈楠 (1981-), 男, 博士, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网关键技术与架构、物云网融合等。

赵建军 (1974-), 男, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网架构、网络、平台及业务等。

钟平 (1964-), 男, 天翼物联科技有限公司高级经济师, 主要研究方向为物联网战略与规划等。

黄勇军 (1970-), 男, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网关键技术规划与管理等。

陈天 (1980-), 女, 天翼物联科技有限公司工程师, 主要研究方向为物联网关键技术与架构等。