



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

# 工业互联网产业联盟标准

AII/002-2024

## 开放自动化系统参考架构

Universal Automation System Reference  
Architecture

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

(2024年9月)





**工业互联网产业联盟**  
**Alliance of Industrial Internet**



# 声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟  
联系电话：010-62305887  
邮箱：a ii@caict.ac.cn



## 目 次

编写说明 .....	1
1. 范围 .....	3
2. 规范性引用文件 .....	3
3. 缩略语 .....	3
4. 术语和定义 .....	5
5. 开放自动化系统功能架构 .....	7
5.1. 工业自动化系统概述 .....	7
5.2. 开放自动化系统架构 .....	7
5.3. 开放自动化系统设计开发原则 .....	9
6. 云部署的功能要求 .....	9
6.1. 一般要求 .....	9
6.2. 开放化要求 .....	10
6.3. 智能化要求 .....	10
6.4. 协同化要求 .....	10
7. 边缘部署的功能要求 .....	11
7.1. 一般要求 .....	11
7.2. 开放化要求 .....	11
7.3. 智能化要求 .....	12
7.4. 协同化要求 .....	12
8. 现场部署的功能要求 .....	13
8.1. 一般要求 .....	13
8.2. 开放化要求 .....	13
8.3. 智能化要求 .....	13
8.4. 协同化要求 .....	14
9. 网络功能要求 .....	14
9.1. 开放自动化系统网络化概述 .....	14
9.2. 网络功能要求 .....	14
10. 安全功能要求 .....	16
附录 A .....	17

A.1 参考实现一: 施耐德电气工厂线体升级改造 .....	17
A.2 参考实现二: 零点自动化系统有限公司分布式控制系统 .....	20
A.3 参考实现三: 基于开放自动化的一种边缘和现场侧部署的方案 .....	23
A.4 参考实现四: 中国电信翼云控云边协同开放自动化方案 .....	25
A.5 参考实现五: 中移物联网 OneOS 端云融合开放自动化架构 .....	27
A.6 参考实现六: 中兴通讯滨江工厂线体升级改造 .....	30



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

## 编写说明

为适用我国工业互联网新形势需求，结合工业自动化发展趋势，本文件制定了开放自动化系统参考架构，本文件是参考国内和国际的相关标准，并结合国内边缘计算的实际情况制定。

本文件按照 GB/T1.1-2009 给出的规则起草。

随着技术的发展，还将制定后续的相关文件。

本文件起草单位：

施耐德电气（中国）有限公司、中国信息通信研究院、华中科技大学、中兴通讯股份有限公司、飞腾信息技术有限公司、华为技术有限公司、四川零点自动化系统有限公司、中国移动通信集团有限公司、中国电信股份有限公司研究院、道莅智远科技(青岛)有限公司、深圳艾灵网络有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、北京城建智控科技股份有限公司、联诚科技集团股份有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司

本文件主要起草人：阎新华、王勇、王强军、陈小淙、应天卫、匡云霞、王哲、胡钟颢、黄颖、陈冰、束裕、赵孝武、王旭辉、申友志，王迥波，高翔、蔡圣明、张文远、王元、廖亮、邹翔、王德武、李蒙、李波、刘玮哲、晏箐阳、张文安、张湘东、隋振利、史连明、杨凯、俞一帆、刘旻、夏长清、张华良、张辉、张利宽、李素芝、彭勃、陈鹏飞、骆中斌，叶青，朱湧



**工业互联网产业联盟**  
**Alliance of Industrial Internet**

# 开放自动化系统参考架构

## 1. 范围

本文件规定了开放自动化系统的参考功能架构，提出了云部署、边缘部署和现场部署的一般要求和开放、智能、协同的功能要求以及系统的网络、安全要求。同时资料性附录 A 给出了有关架构的参考实现。

本文件适用于指导工业自动化产品、系统和解决方案的设计和开发，以及系统选型、集成部署、维护和升级，也可作为其他行业、领域自动化应用的参考。

## 2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15969.3-2017 可编程序控制器 第3部分：编程语言

GB/T 19769.1-2022 功能块 第1部分：结构

GB/T 19769.2-2022 功能块 第2部分：软件工具要求

GB/T 19769.4-2022 功能块 第4部分：一致性行规的规则

## 3. 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)

AGV: 自动导引运输车 (Automated Guided Vehicle)

API: 应用程序接口 (Application Programming Interface)

APP: 应用 (Application)

CAN: 控制器域网络 (Controller Area Network)

CoAP: 受限应用协议 (Constrained Application Protocol)

- HMI:人机接口 (Human Machine Interface)
- HTTP: 超文本传输协议 (Hypertext Transfer Protocol)
- HTTPS: 超文本传输安全协议 (Hypertext Transfer Protocol Secure)
- ICT: 信息通信技术 (Information and Communications Technology)
- IDE: 集成开发环境 (Integrated Development Environment)
- IDOS: 智能数字化运维服务 (Intelligence Digital Operational Service)
- I/O: 输入/输出 (Input/Output)
- IoT: 物联网 (Internet of Things)
- ISA-95: 国际自动化协会95标准 (International Society of Automation 95)
- MES: 制造执行系统 (Manufacturing Execution System)
- MQTT: 消息队列遥测传输协议 (Message Queuing Telemetry Transport)
- OS:操作系统 (Operating System)
- PLC: 可编程序逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)
- RISC-V: 第五代精简指令处理器 (Reduced Instruction Set Computer -  
Version Five)
- SCADA: 监控与数据采集 (Supervisory Control And Data Acquisition)
- SMTP: 简单邮件传输协议 (Simple Mail Transfer Protocol)
- TSN: 时间敏感网络 (Time-Sensitive Networking)
- vPLC: 云化/虚拟化可编程序逻辑控制器 (Virtual Programmable Logic  
Controller)

## 4. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 4.1

#### 可移植 Portability

不同厂家的库或应用能够被其它软件工具接受和正确地解释，可以重复使用的特征

示例：在两个软件工具之间，如果一个软件库元素能够被两个软件工具接受和解释，那么这个软件库元素是可移植的。

[来源：GB/T 19769.4-2022，3.7 有修改]

### 4.2

#### 可配置性 Configurability

能被配置的（一个功能单元的）能力。可由不同供应商的不同软件工具配置设备

示例：设备的可配置性可通过其符合一致性行规可配置性要求的程度来表示。

[来源：GB/T 19769.4-2022，3.3 有修改]

### 4.3

#### 互换性（功能单元） Interchangeability (with a functional unit)

能够替换功能单元。

示例：如果一个设备可以替换另一个设备，替换后之前的任何分布式应用照常继续运行，包括涉及该设备的任何分布式应用具有同样的动态响应，那么该设备与另一设备可视为是可互换的。

[来源：GB/T 19769.4-2022，3.6 有修改]

#### 4.4

##### 互操作性 Interoperability

能够共同操作去执行一组规定的功能。

示例：如果两个设备能够共同操作去执行系统配置所规定的功能，则他们可被视为是可互操作的。

[来源：GB/T 19769.4-2022，3.5 有修改]

#### 4.5

##### 开放自动化系统 Universal Automation System

符合可移植、可互换、可配置、可互操作等特征的自动化系统。通常由传感、执行、控制、人机交互和网络等功能单元组成，可融合先进 ICT 技术，对传统的自动化系统的功能进行增强和扩充。

#### 4.6

##### 虚拟化控制 Virtual Control

部署在云侧或边缘侧，将工业控制系统通过资源池化或共享实现的控制功能。采用虚拟化控制的处理器、内存、存储、网络等资源一般可以动态分配和调整。

#### 4.7

##### 通用化控制 General Control

部署在企业的边缘侧且资源固定的通用设备上（如PLC、边缘控制器、工业计算机等）实现的控制功能。

#### 4.8

##### 嵌入式控制 Embedded Control

部署在企业的现场，在用于直接监视或控制工业过程的专用设备中实现的控制功能。

## 5. 开放自动化系统功能架构

### 5.1. 工业自动化系统概述

工业自动化系统是将计算机、通信、控制等技术应用于工业生产领域，对生产设备和生产过程进行测量、控制、调节和保护的一种系统。通常由传感器、控制器和执行器，以及 HMI 和网络等几个基本部分组成。

传统的 ISA-95 分层架构由于数据流动清晰，系统集成的工作界面明确，有助于理解生产制造环境中不同的控制层次以及它们之间的联系而被业界广泛接受和采用。但要适应现代工业变化需求，尤其是在 ICT 技术飞速发展的今天，传统的工业自动化系统面临着许多挑战，主要体现在以下几个方面：

- a) 软硬件绑定及紧耦合的系统无法有效利用最新的数字化技术赋能生产过程；
- b) 各软硬件供应商的集成接口繁多、产品互相不兼容，导致用户建设、维护总成本不断攀升，同时对自动化系统供应商依赖程度越来越高；
- c) 跨层级数据传递效率差，影响数据质量；
- d) 业务流程对应的系统碎片化；生产过程数据分散，无法得到有效利用。

随着制造业数字化转型的不断深化，用户急需新的工业自动化系统架构来满足制造业不断增长的复杂性的需求。传统的工业自动化系统架构正在向具有智能化、网络化、开放化、协同化等特征，基于云、边、现场协同的、软件定义的开放自动化系统架构演变。随着 ICT 技术和装备智能化的快速发展，还可能演变成云、现场协同的全分布式的网状架构。

### 5.2. 开放自动化系统架构

开放自动化系统参考架构如图 1 所示，可依据控制系统数据的实时性、关联性、安全性要求及规模，将控制、数据处理和分析等智能服务灵活部署云、边、现场侧的各个层级。

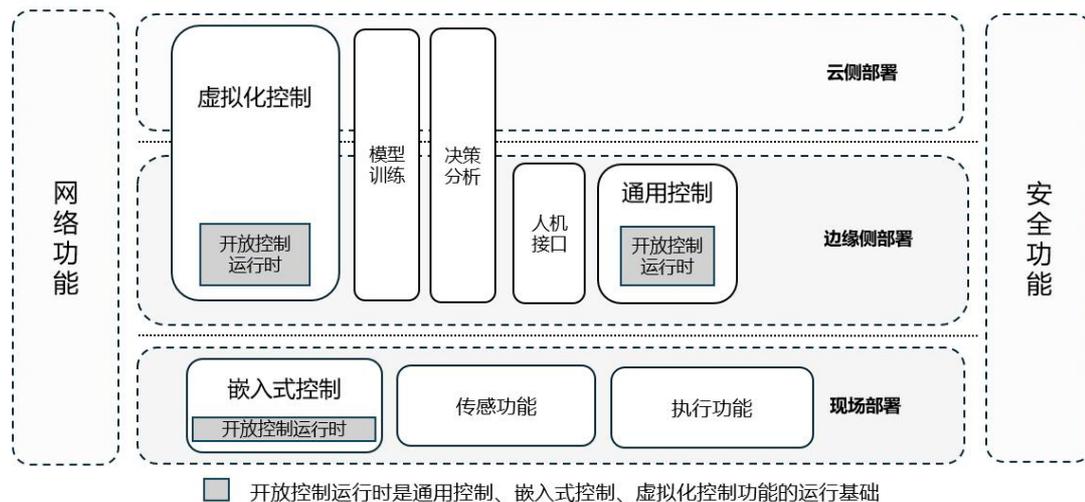


图1 开放自动化系统参考功能架构图

a) **云部署**主要包括为工业控制应用服务的模型训练及决策分析等功能单元，同时也承载虚拟化控制功能。其中：

- 1) 模型训练是基于云-边-现场架构特征进行终身训练和优化，如采用联邦学习、大模型调优与蒸馏等；
- 2) 决策分析是利用云计算和数据分析技术，基于模型和数据作出的和控制有关的判断，帮助现场人员根据变化快速做出调整、提高效率；
- 3) 虚拟化控制是将控制系统通过资源池化或共享实现的控制功能。

b) **边缘部署**主要包括虚拟化控制、模型训练、决策分析、人机接口和通用控制等功能单元。其中：

- 1) 虚拟化控制，如对确定性、安全性有一定要求的应用；
- 2) 模型训练是指在边缘侧就近提供小规模模型训练功能；
- 3) 决策分析是基于模型和数据作出的和控制有关的判断，可以用于帮助现场人员根据变化快速做出调整；
- 4) 人机接口是指用户与边缘设备或系统进行交互的方式（如图形用户界面、语音识别、手势识别等）；
- 5) 通用控制，如适应工业现场恶劣环境的边缘控制器。

c) **现场部署**主要包括传感功能、执行功能以及嵌入式控制等功能单元。其中：

1) 传感功能是指通过各种传感器来感知环境和收集数据，可以实时监测环境变化，采集数据并传输给其他功能单元进行处理和分析；

2) 执行功能是指接收控制指令，对生产过程进行操作的能力，可以根据预设的条件执行特定的任务；

3) 嵌入式控制能够独立地对环境进行感知、分析和控制，并根据预设的算法和逻辑进行自主决策和执行。

d) **网络功能**单元负责处理系统中的通信，并支持不同网络协议设备间的互联、互通、互操作；

e) **安全功能**单元负责保障系统的安全性和数据的机密性，防止未经授权的访问和恶意攻击，以确保系统的稳定运行和数据的安全传输。

### 5.3. 开放自动化系统设计开发原则

开放自动化系统设计与开发时应遵循以下原则：

- a) 通用化原则：可以灵活地部署在不同的系统和设备上，满足不同用户的需求；
- b) 模型化原则：将自动化系统的控制逻辑、数据处理、通信协议等关键要素抽象化为可操作的模型。根据需求可灵活部署系统；
- c) 软硬件解耦原则：软件可以在不同的硬件平台上运行，软件可以在不同的硬件上重用、升级、扩展，不受特定硬件平台的限制；
- d) 模块化原则：将应用功能划分为多个独立的模块，每个模块负责特定的功能，模块可以独立运行、升级和维护；

## 6. 云部署的功能要求

### 6.1. 一般要求

开放自动化系统用于云部署，一般要求如下：

- a) 应支持云原生的虚拟化、容器、微服务架构等部署方式；
- b) 宜支持冗余、备份等高可用性设计，确保服务的连续性与稳定性；
- c) 支持如下虚拟化控制功能：

- 1) 应支持开放控制运行时，并支持与其他工业应用及非实时模块交互；
- 2) 应支持控制编排；
- 3) 应支持IEC 61131-3或IEC 61499标准控制编程语言；
- 4) 宜支持设备管理；
- 5) 宜支持数据处理；
- 6) 宜支持任务实时性优化处理；
- 7) 宜支持被云资源管理系统纳管，提供按需灵活的资源分配；
- 8) 可支持集成开发环境；
- 9) 可支持数据采集监控（SCADA）模块。

## 6.2. 开放化要求

开放自动化系统提供环境、服务和接口满足开放性要求，开放化要求如下：

- a) 应支持应用程序的新增、更改、隔离、删除,不影响系统运行；
- b) 应支持多种通信协议及其转换功能；
- c) 宜支持其他的编程语言，如Python、C/C++、C#、Java等；
- d) 宜支持开发环境提供接口集成第三方API；
- e) 宜支持ARM和X86等多种算力平台；
- f) 宜支持跨平台运行。

## 6.3. 智能化要求

开放自动化系统提供云侧智能化功能，实现机器感知、模型训练、决策分析等智能化功能。要求如下：

- a) 可支持多种模型训练、微调和推理功能；
- b) 可支持机器视觉、机器听觉、机器触觉等感知应用；
- c) 可支持预测性维护功能、故障诊断与隔离功能；
- d) 可支持运营、供应链决策分析功能；
- e) 可支持数据挖掘、清洗、分析等工业大数据功能；
- f) 可支持系统运行状态可视化功能。

## 6.4. 协同化要求

开放自动化系统提供硬件纳管、应用托管、监控运维、数据采集、指令下发等能力，通过与运行于边缘侧的应用交互满足端到端的系统协同化要求。协同化要求如下：

- a) 宜支持资源协同，如云侧对边缘侧的设备的配置、管理功能；
- b) 宜支持数据协同，如数据可以按需在云侧或边缘侧协同处理；
- c) 宜支持应用协同，如对边缘侧或现场设备的指令下发，应用程序的版本管理、下装、升级、编排和配置；
- d) 宜支持智能协同，在云侧和边缘侧依据需求和资源情况，协同完成训练和推理。

## 7. 边缘部署的功能要求

### 7.1. 一般要求

边缘部署的功能单元，应满足如下要求：

- a) 采用通用的硬件和软件架构，不限制硬件平台和软件平台，并支持未来扩展。例如：硬件平台支持 X86、ARM、RISC-V 平台架构，软件平台支持 Windows、Linux 操作系统及其他 VxWorks 等实时操作系统；
- b) 不限制程序开发环境和编程语言。例如：C/C++、Python、GB/T 19769、GB/T15969-3 所规定的编程语言；
- c) 支持系统级建模及部署，如采用 GB/T 19769 的运行库；
- d) 提供控制或编排服务，并根据功能单元的资源及算力调整部署；
- e) 提供人机交互服务；
- f) 支持资源池化和共享，如采用容器或虚拟化技术，提高应用的部署效率和运行的灵活性；
- g) 在可靠性要求高的应用场合，采用冗余高可用性设计；
- h) 满足现场设备控制的实时性要求；
- i) 采用模块化设计，实现各个模块的集成、替换和升级。

### 7.2. 开放化要求

边缘部署的功能单元，除一般要求外，满足如下开放化要求：

- a) 应支持用户应用或程序在不同厂家设备之间移植和复用;
- b) 应采用标准化的数据格式、业务模型、通信协议和接口, 以确保不同厂商的设备和组件能够无缝集成;
- c) 应具有可扩展性以适应不同规模的工业应用;
- d) 开放控制运行时宜采用公开或共享的经过工业验证的代码实现; 组件发布和使用宜标准化;
- e) 虚拟化控制功能单元, 可提供标准的开放接口供外部调用, 同时具备调用外部接口的能力。

### 7.3. 智能化要求

边缘部署的功能单元, 除一般要求外, 满足如下智能化要求:

- a) 宜具备对控制应用自动部署功能。
- b) 宜支持控制功能模块依资源情况进行自动重构;
- c) 宜具备预测性维护、故障检测、生产流程优化、能效分析等功能;
- d) 宜支持故障的自我诊断及报告, 关键报警识别;
- e) 可支持轻量化模型训练、微调和推理功能;
- f) 可支持算法模型在线更新及版本回退, 并可通过定期更新来同步边缘智能。

### 7.4. 协同化要求

边缘侧部署的虚拟控制和通用控制等控制单元, 除一般要求外, 满足如下协同化要求:

- a) 宜支持资源协同, 如边侧对现场的设备的配置、管理功能;
- b) 宜支持数据协同, 如数据可以按需的云侧、边缘侧或现场侧协同处理;
- c) 宜支持应用协同, 如对现场设备的指令下发, 应用程序的版本管理、下装、升级、编排和配置;
- d) 宜支持智能协同, 在云侧和边缘侧依据需求和资源情况, 协同完成训练和推理。

## 8. 现场部署的功能要求

### 8.1. 一般要求

现场部署的设备分为两类：A类设备作为边缘侧或云侧的连接节点，如传感和执行装备；B类设备在具备A类设备功能基础上还支持开放控制运行时的部署，如嵌入式智能装备。用于现场部署的功能要求如下：

a) A类设备应满足：

- 1) 具备北向连接能力，能与其它部署有开放控制运行时的控制单元组成系统配合使用；
- 2) 基于设备信息模型的数据传输，支持资产管理；
- 3) 具有必要的自诊断功能；
- 4) 满足现场恶劣环境的物理和电气要求。

b) B类设备在满足A类要求的基础上，应进一步满足如下要求：

- 1) 7.1节的a)、b)、c)、d)、i)条款；
- 2) 满足高实时性控制、安全性要求；
- 3) 能实现开放控制运行时与本地及远程I/O的可配置连接；
- 4) 支持开放控制运行时的轻量化部署。

### 8.2. 开放化要求

当开放控制运行时部署在现场设备中，除一般要求外，满足如下开放化要求：

- a) 应支持用户应用或程序在云侧、边缘侧和现场侧部署的一致性；
- b) 应支持不同厂商的工程工具对开放控制运行时进行配置；
- c) 应通过标准协议，支持不同设备之间的语义互操作性；
- d) 可支持I/O硬件组态的语义级的配置，实现即插即用。

### 8.3. 智能化要求

除一般要求外，现场设备的智能化要求如下：

- a) 应具备用户可配置的、高采样频率的多通道现场信号实时采集和预处理能力，以支持边缘侧和云侧的 AI 模型训练对数据采集的动态需求；
- b) B 类设备宜具备时序数据存储和汇聚功能，并能与设备信息模型融合形成语义级数据源，支持边缘侧和云侧的异构数据融合和模型训练中的数据自动标定/标注；
- c) B 类设备可具备轻量级 AI 算力资源。

#### 8.4. 协同化要求

现场部署的协同化要求同 7.5 对现场设备的要求。

### 9. 网络功能要求

#### 9.1. 开放自动化系统网络概述

开放自动化系统，特别是工业控制，随着用户需求的多样化及信息技术产业化的普及，尤其是网络、通信、操作系统的发展，推动自动化系统越来越走向开放化。网络化成为自动化系统开放的重要标志。开放自动化系统架构中的网络功能单元负责处理系统中的通信，承载着云、边、现场三层部署架构及其协同的基础设施功能，支持不同网络协议设备间的互联、互通、互操作等。

网络云层负责云计算系统（如公有云、私有云、用户自建云等）间通信的云数据中心网络；边缘层承载边缘业务，包括控制应用等的网络；现场层是工业现场连接 I/O 卡件与控制器的底层网络，也可以用于连接控制器、服务器等。随着开放自动化系统业务的发展，一张融合网络可混合承载各类生产 IT 和 OT 业务，支持不同工业控制业务对网络低时延、大带宽、高精度同步等性能差异化要求。

#### 9.2. 网络功能要求

开放自动化系统网络功能要求如下

- a) 支持主流的开放自动化控制通信协议：

- 1) 应支持至少一种通用应用层数据传输协议，如 MQTT、HTTP、HTTPS、OPC UA 等；
  - 2) 应支持至少一种主要工业协议，不限于：
    - 现场总线协议，如 Modbus、Profibus、DeviceNet、Foundation Field Bus、HART、IO-link、CAN/CANopen、CC-Link、AUTBUS 等；
    - 工业以太网协议，如 PROFINET、EtherCAT、EtherNet/IP、Powerlink、Modbus-TCP、CC-Link IE 等。
  - 3) 可支持 WebSocket、CoAP、GraphQL、gRPC、SMTP 等网络通信协议，满足不同的应用场景需求。
- b) 应支持星型、环形、链形、总线型等网络拓扑，灵活适配工业自动化连接；
- c) 应支持边缘对现场设备的连接和控制的确定性服务要求：
- 1) 满足确定性服务要求的网络，如 5G 等蜂窝网络、全光网、WiFi、工业现场网、TSN 等，应具备为支撑业务确定性的网络时间同步功能；
  - 2) 不同网络在业务负荷和网络共享环境下，具备业务所要求的实时性和确定性。
- d) 支持边缘对现场设备控制的高可靠性要求：
- 1) 应设置备用网络设备，当主用设备故障时能够自动切换到备用设备，确保网络的持续性和可靠性，包括有线无线互备、无线不同制式、无线不同频段等异构网络互备、链路故障快速倒换和双发选收等功能；
  - 2) 应具备满足多节点灾备的网络路由灵活切换。
- e) 支持边缘对现场设备控制的开放性要求：
- 1) 宜提供云-边-现场协同编排等网络自动化能力；
  - 2) 可提供开放的接口，允许第三方系统和应用程序进行集成和数据交换；
  - 3) 可具备网络业务服务化能力，支持用户管理的融合，例如统一 AD 域认证、配置和操作的可追溯。
- f) 网络设备性能满足开放自动化系统部署要求：
- 1) 网络设备（交换机、路由器、防火墙等）应具备高性能和稳定性，以满足实时数据交换和远程控制的要求；
  - 2) 网络设备应能够方便升级和扩展，以适应开放自动化业务发展需要；

- 3) 网络设备应具备良好的互联互通性，与现有的自动化设备和上位机进行无缝连接，确保系统的整体协调性和一致性；
  - 4) 网络设备应适应工业环境要求。
- g) 网络管理、监控和运维要求：
- 1) 应使用自动化系统的网络管理软件，实现对网络设备的集中管理和监控；
  - 2) 应对网络中的设备和连接进行实时监控，及时发现和解决故障，确保系统的稳定运行；
  - 3) 设备日志管理应提供记录日志，包括系统日志、访问日志、防火墙日志、告警日志等配置，能够记录网络设备的登录记录、管理配置操作等，并提供查询、清空日志记录功能；
  - 4) 宜支持远程配置和更新设备参数，减少现场操作；
  - 5) 宜通过网络分析工具等对网络进行性能优化，提高数据传输的效率和实时性；
  - 6) 宜提供可视化网络状态及诊断能力。

## 10. 安全功能要求

开放自动化系统，应该符合有关法律和标准对网络安全和数据安全的要求。

## 附录 A

(资料性附录)

### 参考实现

#### A.1 参考实现一: 施耐德电气工厂线体升级改造

##### A.1.1 项目背景

施耐德电气某工厂的自动化设备使用传统PLC控制器已有十几年, 目前该型号的PLC控制器已停产且没有备件。老式PLC功能单一, 每台生产设备对应于一个PLC控制器来实现就地控制。PLC与上层控制器系统通过网线连接, 布线复杂, 变更费用高。同时工厂组建了一条全自动化柔性装配线, 包含了柔性轨道, 协作机器人, 边缘控制器等智能设备。为了兼容原有的硬件和软件资产, 降低升级成本, 同时引进AI视觉等技术用于柔性生产线的产品质量检测。该工厂决定基于开放自动系统架构对其生产线上现有的PLC控制系统进行升级改造。

##### A.1.2 技术方案选择和架构

为了能够在控制系统经常迭代变化、多种新型技术不断融入控制应用的情况下, 减少或避免控制器的硬件更新以及重新编程与设计, 采用了开放自动化系统的解决方案。改造后的控制架构图, 见图A.1.1



图A.1.1 基于开放自动化系统的控制架构

- a) 在云侧，私有云平台上部署的 AI 引擎对已标定好的大量产品图片样本数据进行模型学习训练，获得所期望的高精度、强鲁棒性的 AI 模型。将训练好的 AI 模型下发至工厂的 IoT 应用；
- b) 在边缘侧，超融合服务器调用 IoT 应用中的 AI 模型对工业相机拍摄的图片进行预测分析，同时将判定结果传送到现场的人机接口 HMI 及制造执行系统（MES）进行监控显示、分析与归档；超融合服务器中虚拟化控制，实现对铆银机和柔性生产线的过程控制；
- c) 在现场端，工业相机触发快门生成待预测的产线产品图片，通过 5G 网络发送至超融合服务器；铆银机和柔性生产线接收来自超融合服务器的控制命令，伺服驱动控制器完成相应的动作实现有序生产；
- d) 在网络方面，铆银机、工业相机、柔性生产线等现场生产设备通过 5G 无线网络与超融合服务器通信，取代原来的有线通信，降低升级布线成本。

### A.1.3 实现的功能

改造后的开放自动化系统去掉了现场每台生产设备就地控制的 PLC 控制器，使用虚拟化控制技术将 IEC61499 Eco-RT 运行时部署在超融合服务器。

- a) 两台互为冗余的超融合服务器，通过 5G 网络和虚拟化控制实现了对多台铆银机的集中控制，监控和管理，并且采用主备集群模式实现了应用的双层保护和高可用性；
- b) AI 和机器视觉技术可根据产品类型和生产需求，自动学习并更新 AI 模型，让生产线更柔性化，智能化。通过缺陷检测，使生产过程形成数据闭环，实现对整个工艺的反馈和优化；
- c) 采用通用硬件超融合服务器代替原有 PLC 控制功能，同时整合视觉、机器人控制、I/O 以及文件管理功能，实现跨层访问数据；
- d) 以资产为中心系统级建模的编程方式，对自动化对象包装重用，方便实现了分布式系统的扩展和调整；
- e) 使用 IEC61499 编程语言实现了铆银机和柔性生产线的过程控制，使用 C++、Python、C# 等高级语言编写的 AI 算法实现缺陷检测。

#### A.1.4 实施成效

开放自动化系统的可复制和高可用性使铆银机的升级周期从 7 天缩短到 2 天。虚拟化控制技术的应用降低了产线对 PLC 数量的依赖，节约了固定资产投资和运维成本，综合预计每台铆银机可节约的升级成本达 7.5 万。开放自动化系统中 AI 机器视觉系统使柔性生产线更高效，精准，灵活。

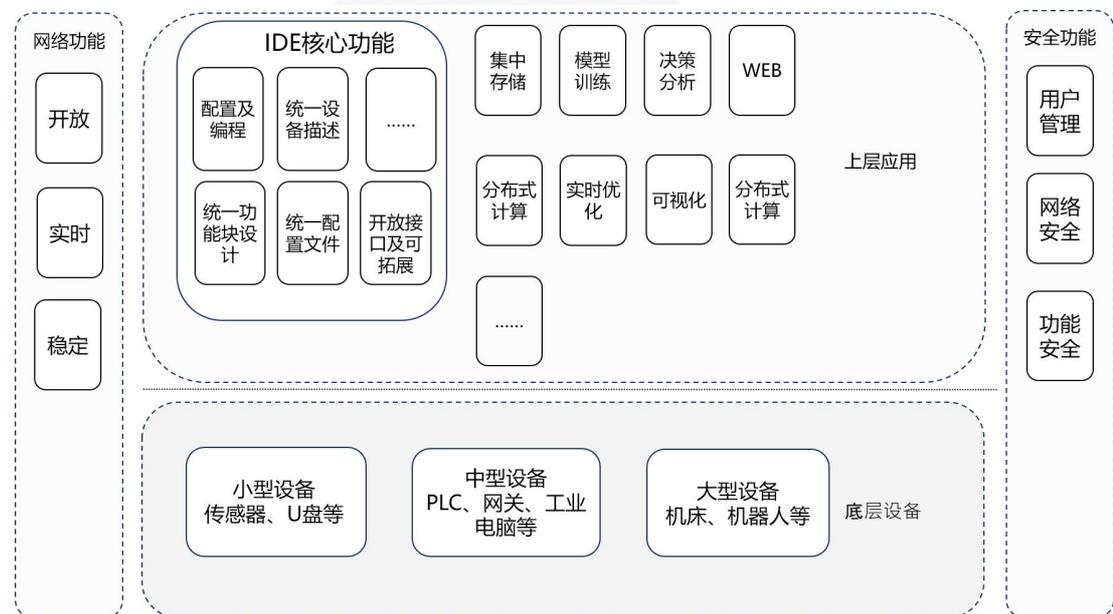


工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

## A.2 参考实现二: 零点自动化系统有限公司分布式控制系统

### A2.1 架构

四川零点自动化系统有限公司基于目前自动化行业现状，提出基于上层应用+底层设备的方案，上层应用可以是上位机应用也可以是云服务等软件，底层设备就是物理硬件，当仪表、传感器等设备的计算资源足够时，自己本身可作为边缘控制单元，上层应用之间、上层应用与底层设备之间、底层设备之间的作用通过网络进行交互。



图A.2.1 基于开放自动化的分布式控制系统架构

### A2.2 上层应用

上层应用核心功能包含 IDE（集成开发环境），可支持如可视化、大模型等功能，详细功能如下：

- 核心功能具备传统 IDE 所有功能，如设备描述文件、编程、配置、设备组态、HMI 等等；
- 统一的设备描述文件，即使不同 IDE 也互相导入同一份设备描述文件作为设备库；

- c) 统一的工程配置，即使不同 IDE 也可互相导入工程文件；
- d) 统一的功能块封装，即使不同 IDE 也可互相导入功能块；
- e) 开放式接口及可拓展功能：其他系统可以调用 IDE 接口实现一些其他功能或者 IDE 可以装入自定义插件以实现一些特殊功能；
- f) IDE 甚至本身也可以分布式微服务架构搭建，以实现 IDE 本身的分布式计算，如工程特别大又需要集中管理情况，IDE 本身也可是物联网平台；
- g) IDE 可基于 WEB 实现。

### A2.3 底层设备

自动化系统需要用的真实物理设备，只需要安装基于 IEC 61499 的运行时即可形成基于开放自动化的分布式控制系统架构的底座，详细要求如下：

- a) 设备本身需要支持基于 IEC 61499 的运行时（Runtime），无关设备类型，设备功能由厂家定制或芯片算力决定，甚至一个传感器也可以进行逻辑控制和直接上云操作，只要这个传感器具备硬件条件；
- b) 根据性能要求可支持运动控制、视觉控制等算法；
- c) 根据性能要求可支持 AI 调度；
- d) 根据性能要求可支持各种工业通讯协议。

### A2.4 网络

对于工业自动化网络来说，实时、稳定、安全是必要条件，如今基于开放自动化的分布式控制网络，还需加上分布式与开放性，详细要求如下：

- a) 统一的网络传输：即使不同 IEC 61499 的运行时（Runtime），但分布式网络协议一致，类似 TSN 等仅作为传输介质；
- b) 通过统一接口封装，可支持各种工业通讯协议。
- c) 网络要求低延迟、抗干扰能力强同时满足网络安全要求

### A2.5 安全

工业自动化安全要求是确保自动化系统在运行过程中能有效防止和应对各种潜在的安全风险，保护企业、人员、设备和环境的安全。详细功能如下：

- a) 普通安全：可加入用户管理、角色管理等等；
- b) 网络安全：传输可加密等；
- c) 控制安全：网络冗余、系统冗余、设备冗余、设备自检等符合功能安全要求。



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

### A.3 参考实现三: 基于开放自动化的一种边缘和现场侧部署的方案

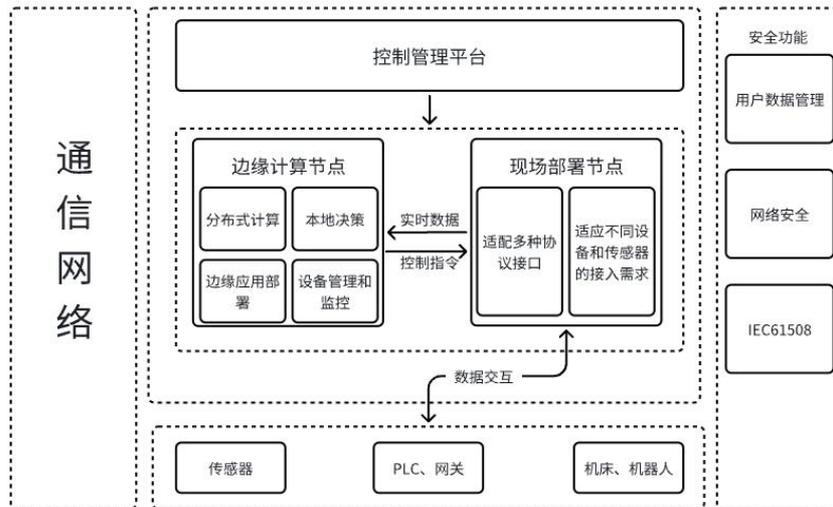


图 A.3.1 基于开放自动化的一种边缘和现场部署的方案

#### A.3.1 项目背景

随着物联网技术的快速发展和智能化需求的不断增加，边缘计算和现场部署成为实现开放自动化的核心要素。边缘计算通过在靠近数据源的位置处理和分析数据，减少了对中央数据中心的依赖，并提升了系统的响应速度和效率。现场部署则通过集成各种传感器和设备，实时采集和传输数据，构建了一个动态和敏捷的工业物联网（IIoT）环境。

#### A.3.2 架构设计

在边缘计算和现场部署的开放自动化架构中，系统的设计主要由四个关键组成部分构成，分别是边缘计算节点、现场部署节点、通信网络和开放自动化平台。这些组件共同协作，以实现高效、可靠的实时数据处理、传输和管理。

- 边缘计算节点**：处理实时数据和应用程序，支持复杂数据处理和分析。
- 现场部署节点**：采集和传输实时数据，支持多种接口和协议，适应不同设备和传感器。
- 通信网络**：连接各节点和平台，确保高可靠性和低延迟的数据传输。
- 开放自动化平台**：统一管理和控制节点，实现应用的部署、监控和调度。

### A.3.3 实现方法

为实现开放自动化架构中的各项功能，系统需要从边缘节点部署、现场节点接入、通信网络优化和开放自动化平台集成四个方面进行设计和实施。这些措施旨在确保系统的高效性、可靠性和可扩展性。

- a) **现场节点接入**: 考虑设备类型和通信协议，确保数据准确采集和传输。
- b) **通信网络优化**: 优化网络，提高传输效率和稳定性，采用负载均衡和数据压缩技术。
- c) **开放自动化平台集成**: 实现统一管理和控制，提供友好的界面和丰富的功能。

### A.3.4 优势与应用

开放自动化架构在实际应用中带来了多重优势，包括降低成本、提高效率、增强安全性和支持智能化应用。这些优势共同提升了系统的整体性能和可操作性。

- a) **降低成本**: 减少数据传输和存储成本，提高资源利用效率。
- b) **提高效率**: 实时数据处理和应用部署提高生产效率和响应速度。
- c) **增强安全**: 本地数据处理减少传输，提高数据安全性。
- d) **智能化应用**: 实现智能化应用部署和管理，提高系统自动化和智能化程度。

### A.3.5 结语

结合物联网、边缘计算和自动化控制技术，边缘与现场部署的开放自动化架构为工业和企业提供了全新的解决方案和发展机遇。这种架构不仅推动了智能化和自动化的进步，还为企业带来了显著的效率提升和成本节约，是未来工业发展的重要方向。

## A.4 参考实现四: 中国电信翼云控云边协同开放自动化方案

### A.4.1 方案实现

中国电信翼云控云边协同工业云控系统结合生产设备、协作机器人、AGV、视觉传感器、AI等新兴技术提出智能、协同、易部署、可复制推广的开放自动化方案。基于翼云控云边协同开放自动化方案部署如下图所示:

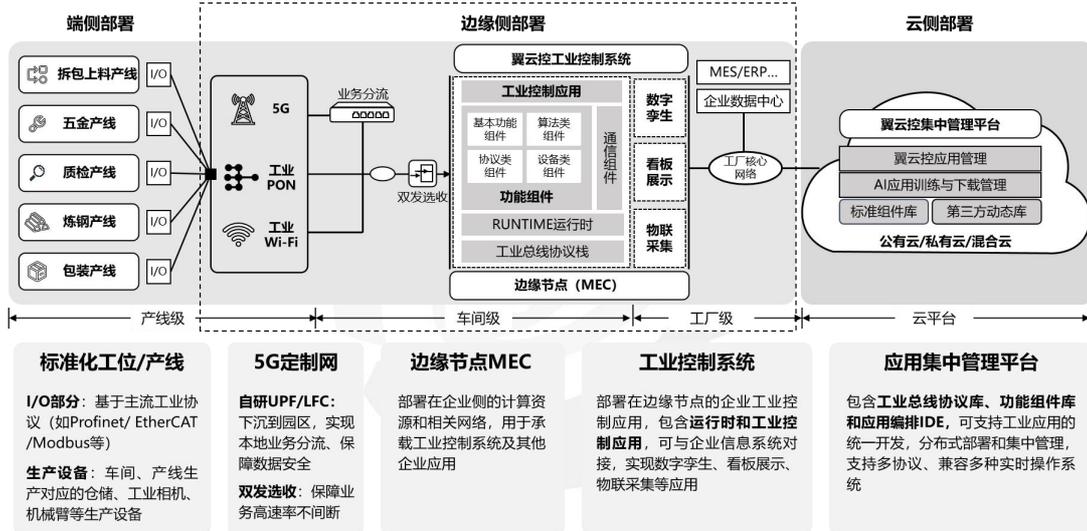


图 A.4.1 翼云控云边协同开放自动化方案部署架构

a) 端侧部署:支持多种企业标准化工位及产线生产设备,如产线传送带、机器人、工业相机、数控机床等,兼容多种接口和协议适应不同设备和传感器,通过远程IO设备与边缘侧进行通信,实现数据采集上传及控制指令的下发;

b) 边缘侧部署:虚拟化控制系统基于KVM虚拟化控制技术通过VCPU PIN配置、VCPU隔离、应用级ksoftirqd内核线程管理等内核管理技术,通过边缘节点进行部署,兼容5G、工业PON、工业Wi-Fi及以太网等多种网络与协议基于协同化要求与端侧及云侧进行互操作,并支持与企业信息系统、数字孪生、看板展示、物联采集等系统对接;

c) 云侧部署:集中管理平台可基于企业需求部署于公有云、私有云或混合云平台上,对工业控制及AI相关应用进行编排管理,基于智能化要求和协同化要求与边缘侧进行互操作。

#### A.4.2. 方案应用

翼云控云边协同开放自动化方案基于“云侧模型更新-边缘侧计算-端侧快速响应”实施策略，可面向工业场景搭建智能数据采集与故障诊断、基于视觉AI智能检测、风机节能控制、智能上料等解决方案。

#### A.4.3. 方案优势

翼云控云边协同开放自动化方案优势如下：

a) 开放化原生 AI 集成：引入边缘侧及云侧算力，将虚拟化控制与 AI 原生融合，解决智能生产制造的场景中 AI 能力在开放自动化平台的复制与调用，同时形成工业 AI 能力开放化的开发与供应的生态。

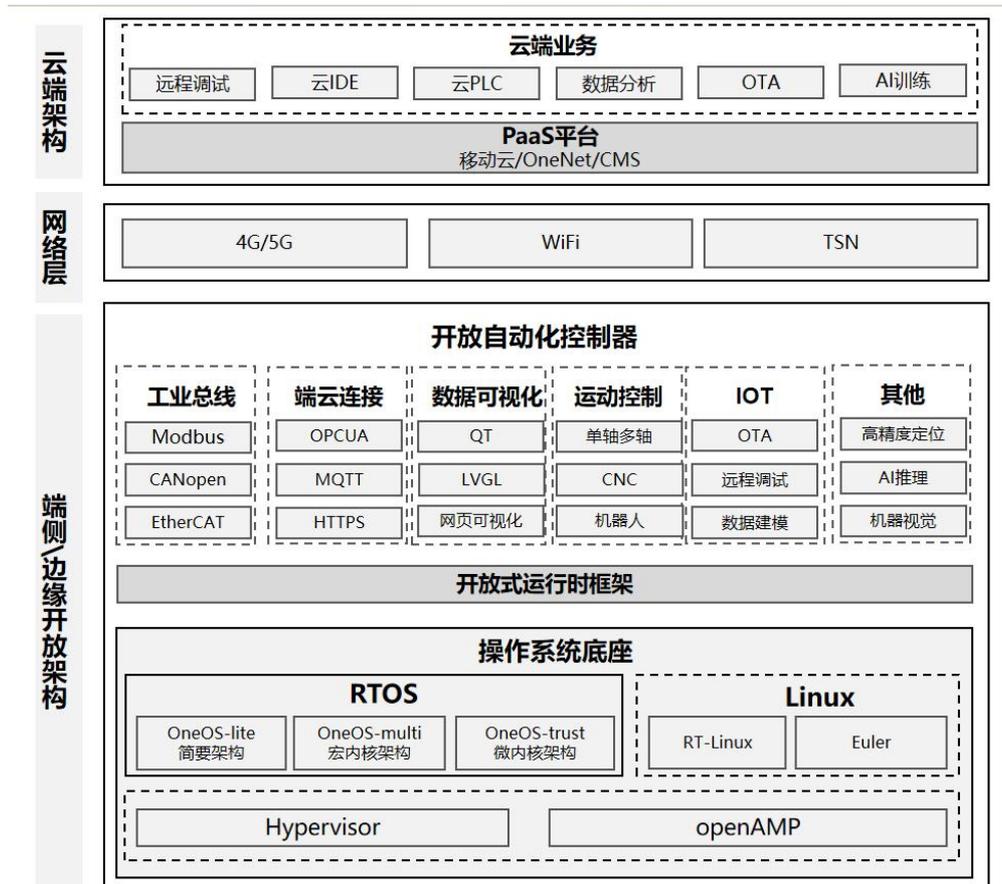
b) 高实时性：基于实时嵌入式/Linux 底座及 KVM 虚拟化控制技术实现边缘侧实时工业控制应用部署，基于事件触发功能块的可执行系统级建模技术支持 IEC61131 及 IEC61499 标准，保证翼云控云边协同开放自动化方案的实时性。

c) 高准确性：利用 5G 高精度时间同步及动态库调用解耦技术优化虚拟控制扫描周期，保证了云边协同方案控制信令的连锁精度与准确性。

## A.5 参考实现五: 中移物联网 OneOS 端云融合开放自动化架构

### A.5.1 架构实现

中移物联网基于OneOS的云边端开放式自动化架构如下:



图A.5.1: 中移物联网基于OneOS的工业开放架构

#### a) 端侧/边缘部署

由于工业控制实时性、可靠性要求高，所以在端侧部署是最为常见的。随着确定性网络的发展，由于边缘设备的性能更加强大，系统的功能扩展和控制器实例化能力更好，在近实时的边缘侧部署也逐渐成为目前工业自动化系统的主流部署方式。按操作系统底座的形态，可以分为两种具体的部署形式：

- 1) 单操作系统模式: 只有一个操作系统，适用于中小型嵌入式控制器
- 2) 混合操作系统模式: 有实时和非实时的操作系统进行业务协同，适用于计算资源充足的端侧控制器或边缘控制器。

--AMP架构：实时和非实时分别部署在处理器的不同核上，通过核间通信进行协同；

--虚拟化架构，又可以分为Type1和Type2虚拟化，其中Type1基于hypervisor，直接部署在硬件上，实时性较好，可用于高速实时运动控制控制；Type2基于容器技术（如Docker），部署在操作系统之上，实时性受操作系统和容器影响，一般只用于逻辑控制。

#### b) 云部署

基于移动的PaaS平台（移动云、OneNet等），可在云侧部署业务模块，通过实时网络与端边进行协同

#### c) 网络

中移物联网工业开放架构支持开放式网络，包括有线网络和无线网络，可应用于现场网络或工业互联网。网络类型支持：4G/5G、WiFi、TSN、星闪等

### A.5.2 架构要求

#### a) 开放化

操作系统和运行时都采用模块化设计，功能可根据业务场景需求进行裁剪。

操作系统模块包括：内核、文件系统、驱动、网络协议栈、OTA组件、定位组件等。

运行时模块包括：运行时框架、分布式任务编排、工业总线、运动控制、端云连接、可视化等。

云边端架构根据业务场景可以搭配组合成云边端、云边、云侧、边端等子架构。

#### b) 智能化

开放架构端侧支持嵌入式AI框架、数据库、网络服务器等，可实现智能化业务扩展。

#### c) 协同化

中移OneOS工业开放架构支持端侧原生IOT组件，支持HTTP、MQTT、OPCUA等主流云连接协议，可实现开放自动化系统的云边端协同。

### A.5.3 方案优势

- a) 高实时：基于实时嵌入式/Linux底座，打通优化OS与运行时系统，兼容实时性高的工业以太网、5G、TSN等网络技术，实现端到端的实时性；
- b) 高可靠：操作系统通过IEC61508 SIL3认证，搭配生态的功能安全运行时和总线，构建功能安全整体方案；
- c) 灵活扩展：架构中的云边端层级可以按需组合，业务模块可裁剪；
- d) 端云一体：中移提供全栈的云边端和网络基础设施，为行业应用提供一站式解决方案。



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

## A.6 参考实现六: 中兴通讯滨江工厂线体升级改造

### A.6.1 项目背景

中兴通讯滨江工厂主要生产5G网络设备。为提高产线生产效率、满足柔性生产的需求以及新品的快速导入量产，中兴通讯对部分产线进行自动化和数智化相结合的升级改造。

5G设备QCELL生产自动化测试线实现了基于云化PLC的数字孪生改造，并逐步扩展到相关协作工序，针对智能电批锁付、机器人控制以及机器视觉等操作进行数智化改造，将传统PLC从现场侧转移至边侧。

### A.6.2 项目架构和实现功能

为了能够利旧已有产线、不同生产工艺和制造部门协同开发和调试、运维支撑，项目结合开放自动化系统和数字孪生相结合的架构，如图A.6.1所示，包括：



图A. 6.1 基于开放自动化系统的控制架构

- a) 针对产线线边工业环境部署算网一体机设备，可提供高集成度5G专网能力、基于TSN的内生确定性网络能力等。其中对算力集成进行

特殊设计，包括满足开发自动化运行的实时 OS，其他非实时 OS 的云底座 TCF 平台，在平台上可集成多种产线线边必备工业应用；

- b) 联合专业 OT 自动化厂家部署的 vPLC 虚拟化控制；
- c) 中兴数字星云 inOne 功能优化现场 IoT 数据采集；
- d) 面向现场生产制造部门运管的企业自服务平台 IDOS；
- e) 基于工业产线 3D 可视、工业模型化的产线数字孪生系统；
- f) 其他可扩展的 AI 平台和预测性维护应用等。

在车间现场部署的极简 5G 现场网算网一体机，将原先产线的 PLC 控制进行集中云化（vPLC）改造。这是利用虚拟化控制，部署多个 vPLC 实例，实例之间实现资源隔离，可对多个螺钉机机台的控制。通过专建 10ms@99.99%量级确定性网络 5G 核心网，完成高实时性要求的运动控制以及快速产线锁付，满足当前开放式自动化系统的柔性化改造以及云化 PLC 改造的预期。

此外，通过在车间现场部署的极简 5G 现场网算网一体机，结合数据采集 IOT 平台前置机应用，统一数据和控制流。5G 现场网数据统一获取、联合制造部门统一工艺模型作可组装的 3D 可视化数字孪生模拟实际物理环境。

对现场的开放自动化+数字孪生，辅构虚拟孪生环境，在虚拟孪生环境中可提供新品导入前进行模拟排程、虚拟调试等功能。模拟验证通过后，再同步部署 vPLC 开放自动化控制到实际物理孪生环境。

图 A.6.2 是云化 PLC 整机测试线。



A.6.2 云化 PLC 整机测试线

### A.1.3 实施效果

结合开放式自动化系统实现了螺钉机产线柔性产线改造，解决了在柔性改造过程中硬件设备交付、接线、调试、运维等一系列问题。通过虚拟化控制以及云化 PLC 改造的方式，使得柔性产线调整时间相比于传统方式缩短 50%、减少现场运维工程师工作量 40%、柔性产线建设成本降低 30%，从而可以减少停产时间以及降低实施成本。

同时，开放自动化系统结合数字孪生的应用，有效地解决了原先新品导入时，相关产品、工艺、制造部门必须现场人员长期驻守而引发的效率低下等问题。通过提前并行安排虚拟现实环境的试产验证，使产品导入时间直接缩短三个月。此外，项目更为充分地利用原有量产产线，减少量产产线停产时间。此实例可以作为开放式自动化系统以及虚拟化控制的典型案例。

## 参考文献

- [1] 文献一名称
- [3] 文献一名称
- [4] 文献一名称
- [5] 文献一名称
- [6] 文献一名称



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet