



中华人民共和国国家标准

GB/T 38869—2020

基于 OPC UA 的数字化车间互联网络架构

OPC UA-based interconnected network architecture in digital plant

2020-07-21 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 2

4 数字化车间互联网络层次结构 2

5 数字化车间互联网络信息流 3

 5.1 互联网络连接方式 3

 5.2 互联网络信息流 4

6 基于 OPC UA 的数字化车间互联网络架构..... 5

 6.1 OPC UA 实现形式 5

 6.2 OPC UA 作用位置 5

 6.3 OPC UA 网络分布 6

 6.4 基于 OPC UA 的互联网络架构 7

 6.4.1 MES 与监控设备之间 7

 6.4.2 MES 与可编程控制设备之间 7

 6.4.3 MES 与现场设备之间 8

 6.4.4 监控设备与可编程控制设备之间 8

 6.4.5 监控设备与现场设备之间 8

 6.4.6 聚合服务器 9

 6.4.7 嵌入式 OPC UA 服务器网关 10

附录 A（资料性附录） OPC UA 协议规范与技术概述 11

 A.1 OPC UA 协议规范框架 11

 A.2 OPC UA 技术概述 12

 A.2.1 概述 12

 A.2.2 OPC UA 基本架构模式 13

 A.2.3 OPC UA 数据编码与传输协议 14

 A.2.4 OPC UA 服务 14

 A.2.5 OPC UA 地址空间与信息模型 15

附录 B（资料性附录） OPC UA 开发实现 16

 B.1 概述 16

 B.2 OPC UA 应用架构 16

 B.3 基于 SDK 的 OPC UA 开发实现 17

 B.3.1 概述 17

 B.3.2 OPC UA SDK 功能 17

B.3.3 业务相关功能的开发	17
B.4 OPC UA 开发和应用考虑	18
B.4.1 资源受限考虑	18
B.4.2 实时性考虑	18
B.4.3 安全性考虑	18
B.5 面向机械加工行业的 OPC UA 架构应用导则	18
B.6 OPC UA 开发实现示例	19
B.6.1 概述	19
B.6.2 数控机床内嵌 OPC UA 服务器的实现示例	20
B.6.3 Modbus 设备采集模块实现	22
附录 C (资料性附录) OPC UA 的兼容性	24
C.1 概述	24
C.2 OPC/OPC UA 兼容性解决方案示例	24
C.2.1 概述	24
C.2.2 UA Proxy	24
C.2.3 UA Wrapper	25
C.3 兼容性声明	26
参考文献	28
图 1 数字化车间互联网络层次结构示意图	3
图 2 软硬件组成及其之间可能连接与信息流示意图	4
图 3 OPC UA 的作用位置示意图	6
图 4 OPC UA 网络分布概念	6
图 5 MES 与监控设备之间基于 OPC UA 的集成	7
图 6 MES 与可编程控制设备之间基于 OPC UA 的集成	7
图 7 MES 与现场设备之间基于 OPC UA 的集成	8
图 8 监控设备与可编程控制设备之间基于 OPC UA 的集成	8
图 9 监控设备与现场设备之间基于 OPC UA 的集成	9
图 10 基于聚合 OPC UA 服务器的集成	9
图 11 基于嵌入式 OPC UA 服务器网关的集成	10
图 A.1 OPC UA 规范框架	11
图 A.2 OPC UA 层模型	13
图 A.3 OPC UA 客户端与服务器的交互关系	13
图 A.4 组合的 OPC UA 服务器和客户端概念	13
图 A.5 OPC UA 传输规范	14
图 B.1 OPC UA 应用程序开发架构	16
图 B.2 OPC UA 标准地址空间	18
图 B.3 面向机械制造行业的典型架构	19
图 B.4 数控机床的信息模型	20

图 B.5 地址空间管理 21

图 B.6 Modbus 采集模块 22

图 B.7 构建信息模型 23

图 C.1 协议转换示意 24

图 C.2 UA Proxy 示意图 25

图 C.3 UA Wrapper 示意图 25

表 B.1 数控机床信息模型映射过程 21

表 B.2 温湿度传感器信息模型映射过程 23

表 C.1 OPC UA 兼容性声明(必备) 26

表 C.2 OPC UA 兼容性声明(可选) 27



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124)归口。

本标准起草单位:机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、中国科学院沈阳自动化研究所、北京和利时系统工程有限公司、上海自动化仪表有限公司、北京东土科技股份有限公司、上海工业自动化仪表研究院、中电科技集团重庆声光电有限公司、中国信息通信研究院、辽宁大学。

本标准主要起草人:刘丹、赵艳领、谢素芬、张思超、虞日跃、赵勇、薛百华、李红词、张茂成、段世惠、宋岩、王洲、牛鹏飞、岳磊、王静。

基于 OPC UA 的数字化车间互联网络架构

1 范围

本标准规定了数字化车间互联网络的层次结构、信息流,以及基于 OPC UA 的网络架构。
本标准适用于数字化车间设备层、控制层和车间层互联网络的架构设计与系统集成。

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 33863(所有部分) OPC 统一架构

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

数据 data

一种形式化的可重复解释的信息表达,用于通信、解释和处理。

[IEC 61499-1:2012,定义 3.23]

3.1.2

数字化车间 digital factory; digital workshop

以生产对象所要求的工艺和设备为基础,以信息技术、自动化、测控技术等为手段,用数据连接车间不同单元,对生产运行过程进行规划、管理、诊断和优化的实施单元。

注:智能制造系统层次的设备层、控制层和车间层属于数字化车间范围。

[GB/T 37393—2019,定义 3.3]

3.1.3

信息 information

通过对数据进行约定而被赋予数据的含义。

[IEC 61499-1:2012,定义 3.53]

3.1.4

客户端 client

向符合 IEC 62541 系列标准规定的 OPC UA 服务器发送消息的软件应用。

[GB/T 33863.1—2017,定义 3.2.5]

注:均指 OPC UA 客户端。

3.1.5

服务器 server

执行 IEC 62541 系列标准规定的服务的软件应用。

[GB/T 33863.1—2017,定义 3.2.28]

注：均指 OPC UA 服务器。

3.1.6

生产线 production line

一组生产设备,专用于生产特定数量的产品或产品系列。

[IEC 62264-1:2013,定义 3.1.28]

3.1.7

生产单元 production unit

一组生产设备,用于转换、分离或作用于一种或多种原料以生产出中间产品或最终产品。

[IEC 62264-1:2013,定义 3.1.35]

3.1.8

系统集成 system integration

将各组成部分子系统集合为一个整体并确保这些子系统能够按照项目技术规范运行。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGV:自动导引车(Automatic Guided Vehicle)

DCS:分布式控制系统(Distributed Control System)

EMS:能源管理系统(Energy Management System)

ERP:企业资源计划(Enterprise Resource Planning)

HMI:人机接口(Human Machine Interface)

IPC:工业计算机(Industrial Personal Computer)

LAN:局域网(local area network)

LIMS:实验室信息管理系统(Laboratory Information Management System)

MES:制造执行系统(Manufacturing Execution System)

OPC UA:OPC 统一架构(OPC Unified Architecture)

PLC:可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller)

PLM:产品生命周期管理(Product Lifecycle Management)

QMS:质量管理体系(Quality Management System)

RFID:无线射频识别(Radio Frequency Identification)

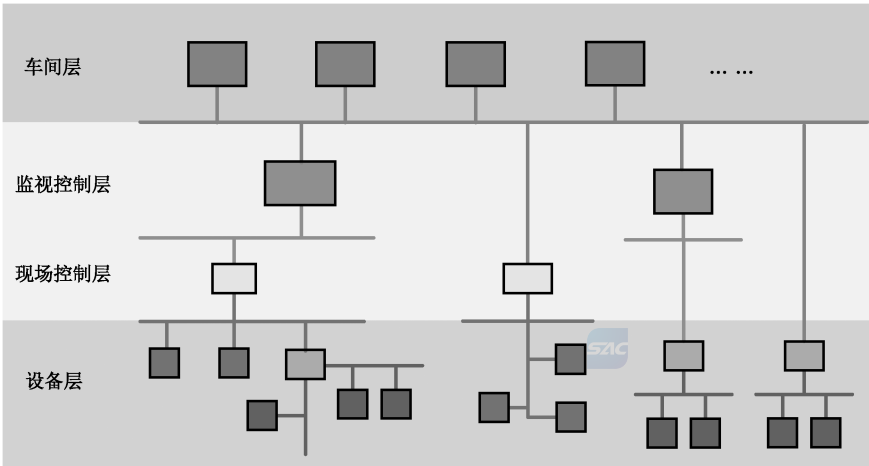
RTU:远程终端设备(Remote Terminal Unit)

SCADA:数据采集与监视控制系统(Supervisory Control And Data Acquisition)

WMS:仓储管理系统(Warehouse Management System)

4 数字化车间互联网络层次结构

数字化车间互联网络的层次结构及各层次系统、设备间连接如图 1 所示。



注：图中仅示意说明层次关系及可能的连接关系。

图 1 数字化车间互联网络层次结构示意图

各层次功能和各种系统、设备在不同层次上的分配如下所述：

- a) 设备层：实现制造过程的传感和执行，定义参与感知和执行生产制造过程的活动。时间分辨粒度可为秒、毫秒、微秒。各种传感器、变送器、执行器、RTU、条码/二维码扫描器、RFID，以及数控机床、工业机器人、AGV、自动化仓储设备等智能制造装备在此层运行。这些设备统称为现场设备。
- b) 控制层：实现制造过程的监视和控制，定义对生产制造过程进行监视和控制的活动的。时间分辨粒度可为小时、分、秒、毫秒。按照不同功能，该层次可进一步细分为：
 - 1) 监视控制层：以操作监视为主要任务，兼有高级控制策略、故障诊断等部分管理功能。各种监视控制设备/系统，如可视化的 SCADA、HMI、DCS 操作员站等在此层运行。
 - 2) 现场控制层：对生产过程进行测量和控制，采集过程数据，进行数据转换与处理，输出控制信号，实现逻辑控制、连续控制和批次控制功能。各种可编程控制设备，如 PLC、DCS 控制器、IPC、其他专用控制器等在此层运行。
- c) 车间层：实现车间的生产管理，定义生产预期产品的工作流/配方控制活动，包括：维护记录、详细排产、可靠性保障等。时间分辨粒度可为日、班次、小时、分、秒。MES、WMS、QMS、EMS、LIMS 等在此层运行。

企业可根据实际生产制造需求和规模可选地实现全部或部分层次。

5 数字化车间互联网络信息流

5.1 互联网络连接方式

数字化车间中典型的与生产相关的软硬件组成及其之间可能连接与信息流(箭头表示)如图 2 所示。

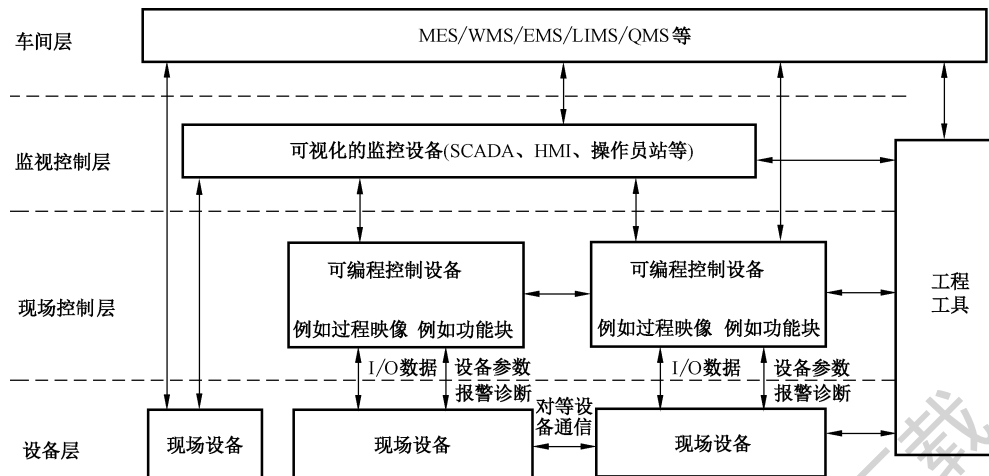


图2 软硬件组成及其之间可能连接与信息流示意图

这些软硬件分布在数字化车间的不同层次且通过通信系统互联,共同实现整个车间自动化生产和信息化管理功能。典型的网络连接包括:

- 现场设备与可编程控制设备(PLC、DCS 控制器或 IPC)通过现场总线、工业以太网或工业无线连接;
- 可编程控制设备与 HMI、SCADA 或 MES 等通过现场总线或工业以太网连接,或者通过 LAN 或以太网连接;
- 工程工具(包括各种编程工具、组态工具、调试工具等)可访问现场设备和可编程控制设备,一般通过以太网、串口(RS-232、RS-485、USB)或其他专用接口与设备连接,并且仅在组态或调试期间存在;
- 现场设备的多个分组(有或没有控制器)也可通过 LAN 相互连接,或者连接到更高层(HMI、SCADA 等)系统;
- 现场设备之间还可通过现场总线、工业以太网、工业无线网或控制器(PLC)直接通信;
- MES 系统可直接访问现场设备,或通过可编程控制设备间接访问现场设备。

5.2 互联网络信息流

数字化车间不同层次或同一层次上的设备和系统通过网络连接在一起,相互之间实现数据传输,更进一步,这些设备和系统能够一致地解析所传输信息/数据甚至了解其含义。

数字化车间各组成部分之间的可能交互的信息流包括:

- MES 等系统与可编程控制设备之间:
 - MES 等系统向可编程控制设备发送作业指令、参数配置、配方数据、工艺数据、程序代码等;
 - 可编程控制设备向 MES 等系统发送与生产运行相关的信息,如生产实绩信息、质量信息、库存信息、设备状态、能耗信息等;
 - 可编程控制设备向 MES 发送诊断信息和报警信息。
- MES 等系统与监控设备之间:
 - 监控设备向 MES 等系统发送与生产运行相关的信息,生产实绩信息、质量信息、库存信息、设备状态、能耗信息等;
 - 监控设备向 MES 等系统发送诊断信息和报警信息。
- MES 等系统与现场设备之间:

- 1) MES 等系统向现场设备发送作业指令、参数配置、配方数据、工艺数据、程序代码等;
- 2) 现场设备向 MES 等系统发送与生产运行相关的信息,生产实绩信息、质量信息、库存信息、设备状态、能耗信息等;
- 3) 现场设备向 MES 等系统发送诊断信息和报警信息。
- d) 监控设备与可编程控制设备之间:
 - 1) 监控设备向可编程控制设备发送控制和操作指令、参数设置等信息;
 - 2) 监控设备从可编程控制设备获取可视化所需要的现场数据;
 - 3) 可编程控制设备向监控设备发送诊断信息和报警信息。
- e) 监控设备与现场设备之间:
 - 1) 监控设备向现场设备发送控制和操作指令、参数设置等信息;
 - 2) 监控设备从现场设备获取可视化所需要的现场数据;
 - 3) 现场设备向监控设备发送诊断信息和报警信息。
- f) 可编程控制设备与现场设备之间:
 - 1) 可编程控制设备与现场设备之间交换输入、输出数据,例如可编程控制设备向现场设备传送输出数据(如参数设定值、作业指令等),以及现场设备向可编程控制设备传送输入数据(如测量值、作业完成情况、质量信息、库存信息、设备状态信息、能耗信息等);
 - 2) 可编程控制设备配置或获取现场设备的参数;
 - 3) 现场设备向可编程控制设备发送诊断信息和报警信息。
- g) 现场设备与现场设备之间:
 现场设备与现场设备之间交换测量值、互锁信号、作业指示、作业完成情况、设备状态等。
- h) 工程工具与监控设备、可编程控制设备、现场设备之间:
 - 1) 编程工具、组态工具向可编程控制设备或现场设备发送程序代码或组态信息;
 - 2) 调试工具向可编程控制设备或现场设备发送读写参数请求,可编程控制设备或现场设备向调试工具返回读写参数响应。

6 基于 OPC UA 的数字化车间互连网络架构

6.1 OPC UA 实现形式

OPC UA 服务器和客户端的实现应符合 GB/T 33863,主要实现方式包括:

- a) OPC UA 客户端可是独立的应用程序或者应用程序的一部分,如 ERP、MES、SCADA 都可是客户端应用程序;
- b) 网络上单独存在的 OPC UA 协议网关,向上层网络提供 OPC UA 服务器,向下层网络采集现场数据;
- c) 同时作为 OPC UA 服务器和客户端,如 SCADA,既可作为客户端获取现场数据,又可作为服务器向 MES 提供数据;
- d) 嵌入式 OPC UA 服务器,可嵌入到 PLC、DCS 控制器等可编程控制设备,或者嵌入到数控机床、工业机器人、自动化仓储设备、RFID 读写器等现场设备。

GB/T 33863 标准结构和 OPC UA 技术概要参见附录 A,OPC UA 的主要开发方法及 OPC UA 服务器地址空间建立方式等参见附录 B。OPC UA 与 OPC 及其他工业通信网络的兼容性解决方案参见附录 C。

6.2 OPC UA 作用位置

数字化车间互连网络中可使用 OPC UA 实现不同层次系统、设备之间集成与信息交换的作用位置如图 3 所示(用椭圆框表示)。

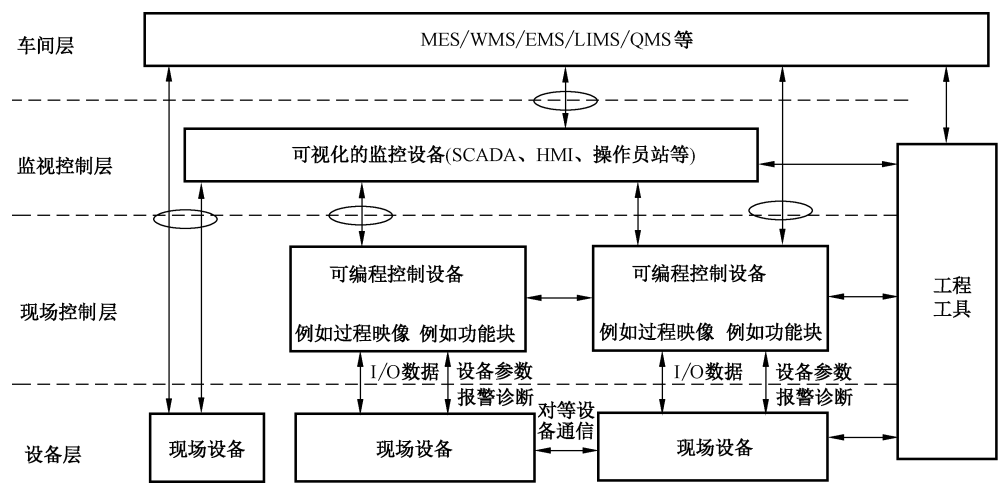


图 3 OPC UA 的作用位置示意图

如图 3 所示,OPC UA 作用位置包括:

- a) MES 等系统与监控设备之间;
- b) MES 等系统与可编程控制设备之间;
- c) MES 等系统与现场设备之间;
- d) 监控设备与可编程控制设备之间;
- e) 监控设备与现场设备之间。

现场设备与现场设备之间、现场设备与可编程控制设备之间、可编程控制设备与可编程控制设备之间、工程工具与 ERP/MES 之间、ERP 与 MES 之间的集成与信息交换也可通过 OPC UA 实现。

6.3 OPC UA 网络分布

在数字化车间互联网络架构中,OPC UA 服务器和客户端的一般分布如图 4 所示,以实现企业内部信息的获取。

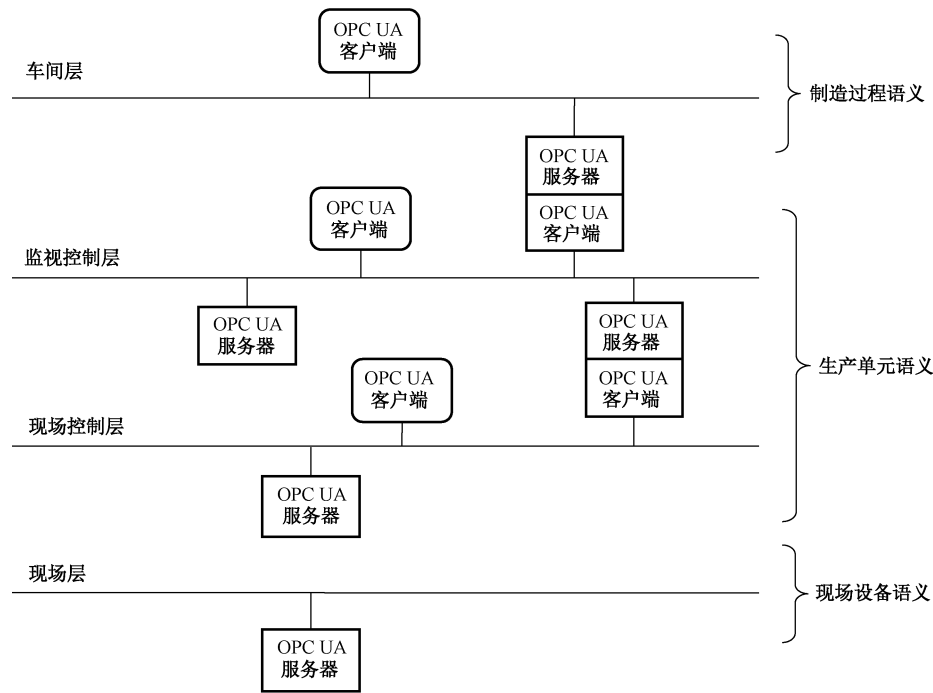


图 4 OPC UA 网络分布概念

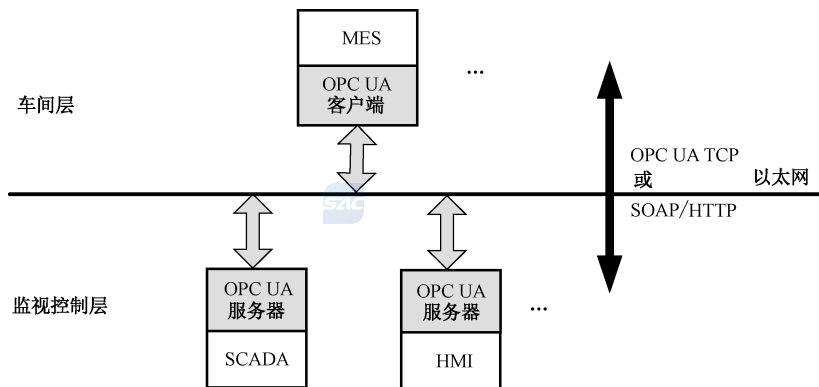
OPC UA 具有信息建模能力,可提供不同层次的数据语义,包括:

- a) 制造过程语义:UA 服务器定义与生产运作管理或生产工艺相关的信息模型;
- b) 生产单元语义:UA 服务器定义生产单元、生产线的信息模型;
- c) 现场设备语义:UA 服务器定义现场设备的信息模型。

6.4 基于 OPC UA 的互联网络架构

6.4.1 MES 与监控设备之间

MES 与监控设备(SCADA、HMI 等)之间基于 OPC UA 的集成如图 5 所示。此种情况下,MES 应作为 OPC UA 客户端,SCADA 或 HMI 应作为 OPC UA 服务器。

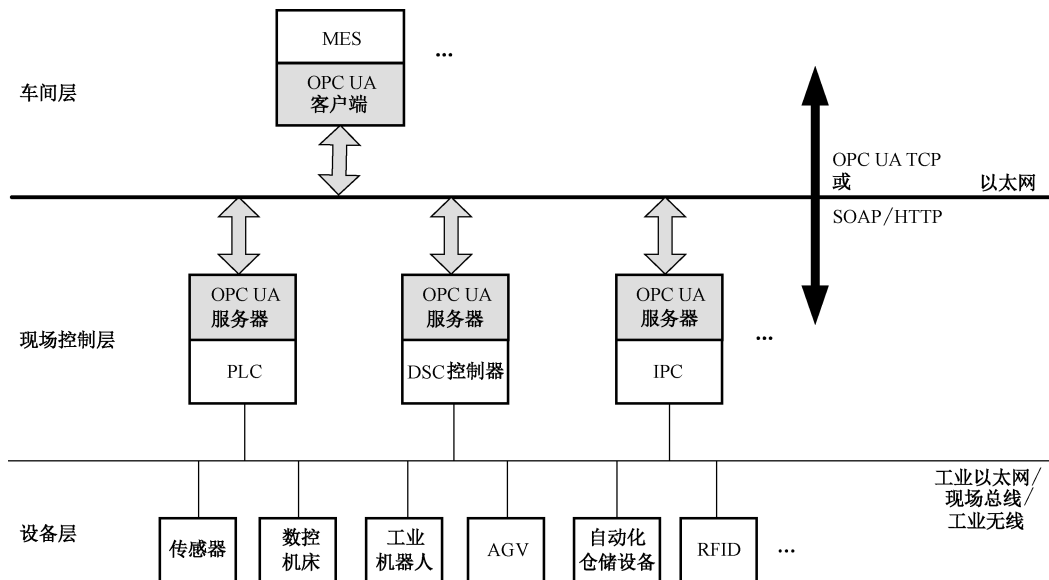


注: 图中仅是示意,并不意味着 SCADA 和 HMI 位于同一网络。

图 5 MES 与监控设备之间基于 OPC UA 的集成

6.4.2 MES 与可编程控制设备之间

MES 与可编程控制设备(PLC、DCS 控制器、IPC 等)之间基于 OPC UA 的集成如图 6 所示。在此情况下,MES 应作为 OPC UA 客户端,PLC、DCS 控制器或 IPC 应作为 OPC UA 服务器。

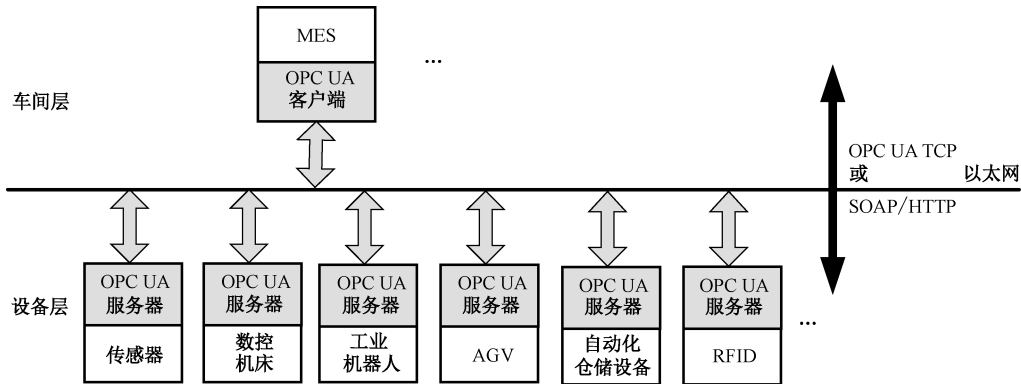


注: 图中仅是示意,并不意味着 PLC、DCS 控制器和 IPC 位于同一网络,或者所有现场设备位于同一网络。

图 6 MES 与可编程控制设备之间基于 OPC UA 的集成

6.4.3 MES 与现场设备之间

MES 与现场设备之间的基于 OPC UA 集成如图 7 所示。现场设备可包括各种传感器、数控机床、工业机器人、AGV、自动化仓储设备、RFID 读写器等制造装备。在此情况下, MES 应作为 OPC UA 客户端, 现场设备应作为 OPC UA 服务器。

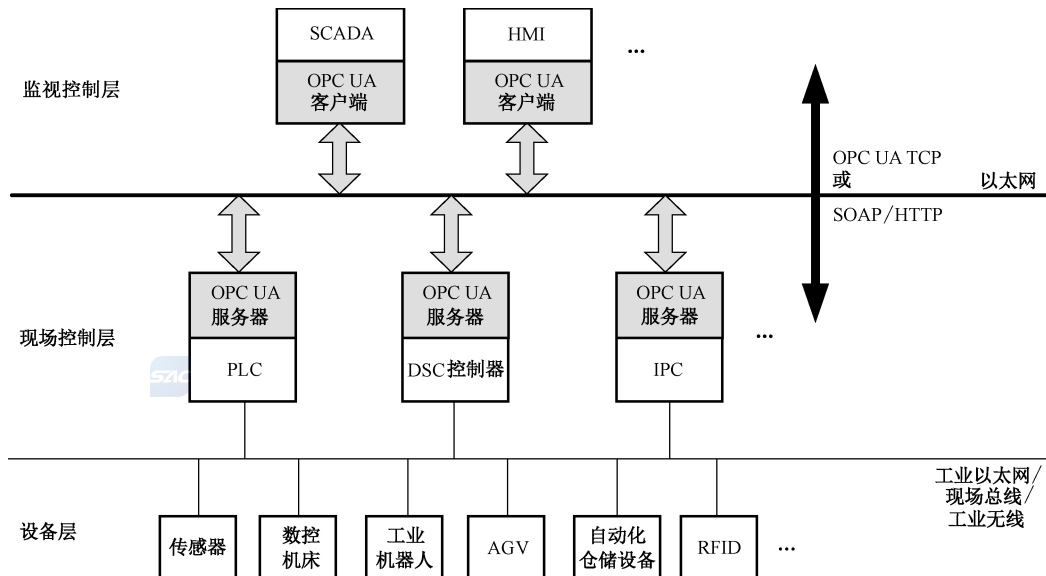


注：图中仅是示意,并不意味着传感器、数控机床、工业机器人、AGV 等现场设备位于同一网络。

图 7 MES 与现场设备之间基于 OPC UA 的集成

6.4.4 监控设备与可编程控制设备之间

监控设备(SCADA、HMI)与可编程控制设备(PLC、DCS 控制器、IPC 等)之间基于 OPC UA 的集成如图 8 所示。在此情况下, SCADA 或 HMI 应作为 OPC UA 客户端, PLC、DCS 控制器或 IPC 应作为 OPC UA 服务器。



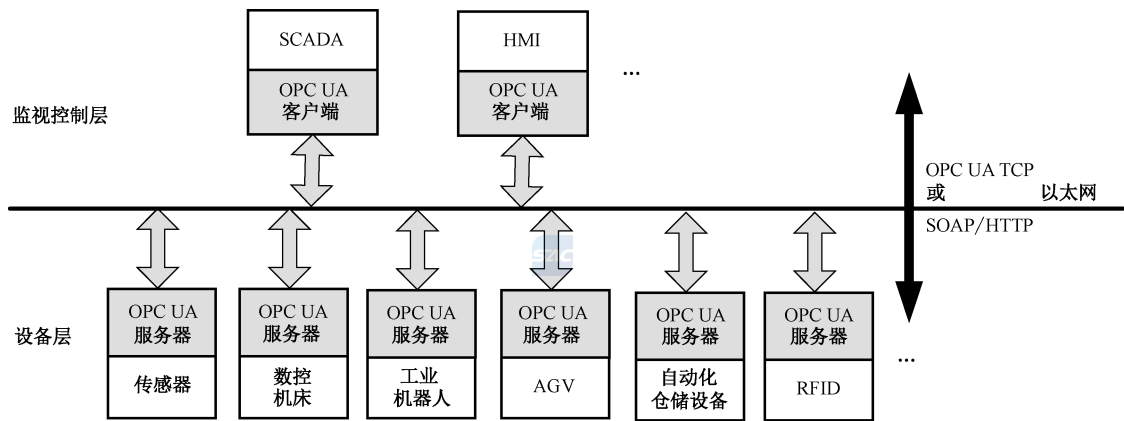
注：图中仅是示意,并不意味着 PLC、DCS 控制器和 IPC 位于同一网络,或者所有现场设备位于同一网络。

图 8 监控设备与可编程控制设备之间基于 OPC UA 的集成

6.4.5 监控设备与现场设备之间

监控设备(SCADA、HMI)与现场设备之间基于 OPC UA 的集成如图 9 所示。现场设备可包括

RTU、数控机床、工业机器人、AGV、自动化仓储设备、RFID 读写器等制造装备。在此情况下,SCADA 或 HMI 应作为 OPC UA 客户端,现场设备应作为 OPC UA 服务器。

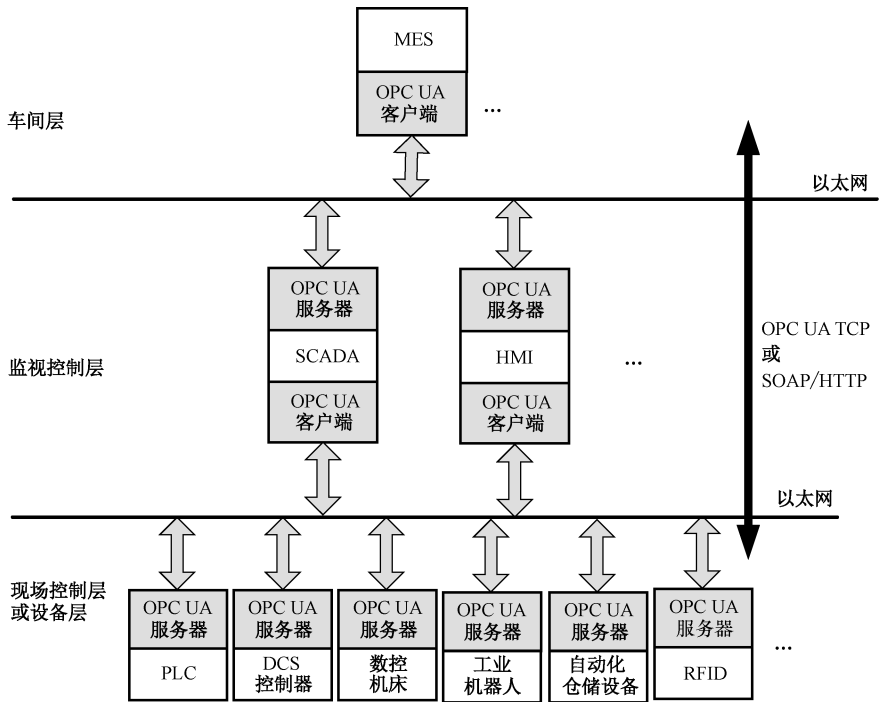


注：图中仅是示意,并不意味着传感器、数控机床、工业机器人、AGV 等现场设备位于同一网络。

图 9 监控设备与现场设备之间基于 OPC UA 的集成

6.4.6 聚合服务器

聚合服务器是一种特殊情况,即一个应用程序既作为 OPC UA 客户端获取数据,又作为 OPC UA 服务器提供数据。图 10 所示示例中,SCADA 和 HMI 同时是 OPC UA 服务器和 OPC UA 客户端, MES 通过 OPC UA 从 SCADA 或 HMI(作为 OPC UA 服务器)获取数据,而 SCADA 或 HMI(作为 OPC UA 客户端)又通过 OPC UA 从控制设备或现场设备获取数据。

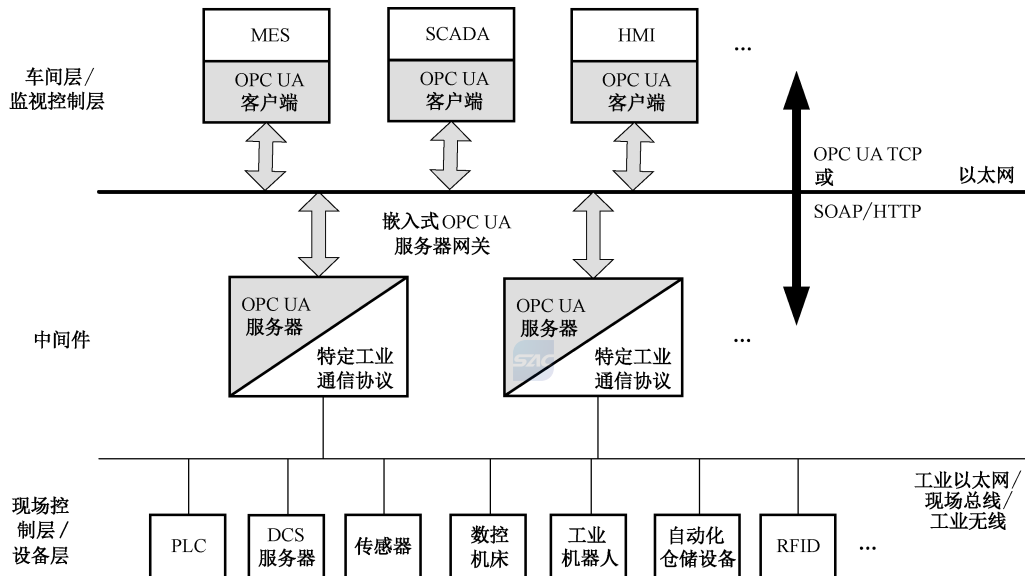


注：图中仅是示意,并不意味着所有可编程控制设备和现场设备位于同一网络。

图 10 基于聚合 OPC UA 服务器的集成

6.4.7 嵌入式 OPC UA 服务器网关

当可编程控制设备、现场设备未实现 OPC UA 服务器时,可采用嵌入式 OPC UA 服务器网关,实现特定工业通信协议与 OPC UA 协议的转换,如图 11 所示。



注：图中仅是示意,并不意味着所有可编程控制设备和现场设备位于同一网络。

图 11 基于嵌入式 OPC UA 服务器网关的集成

附录 A
(资料性附录)
OPC UA 协议规范与技术概述

A.1 OPC UA 协议规范框架

GB/T 33863(所有部分)等同采用 IEC 62541(所有部分),规定了 OPC UA 协议规范,各部分名称如图 A.1 所示。

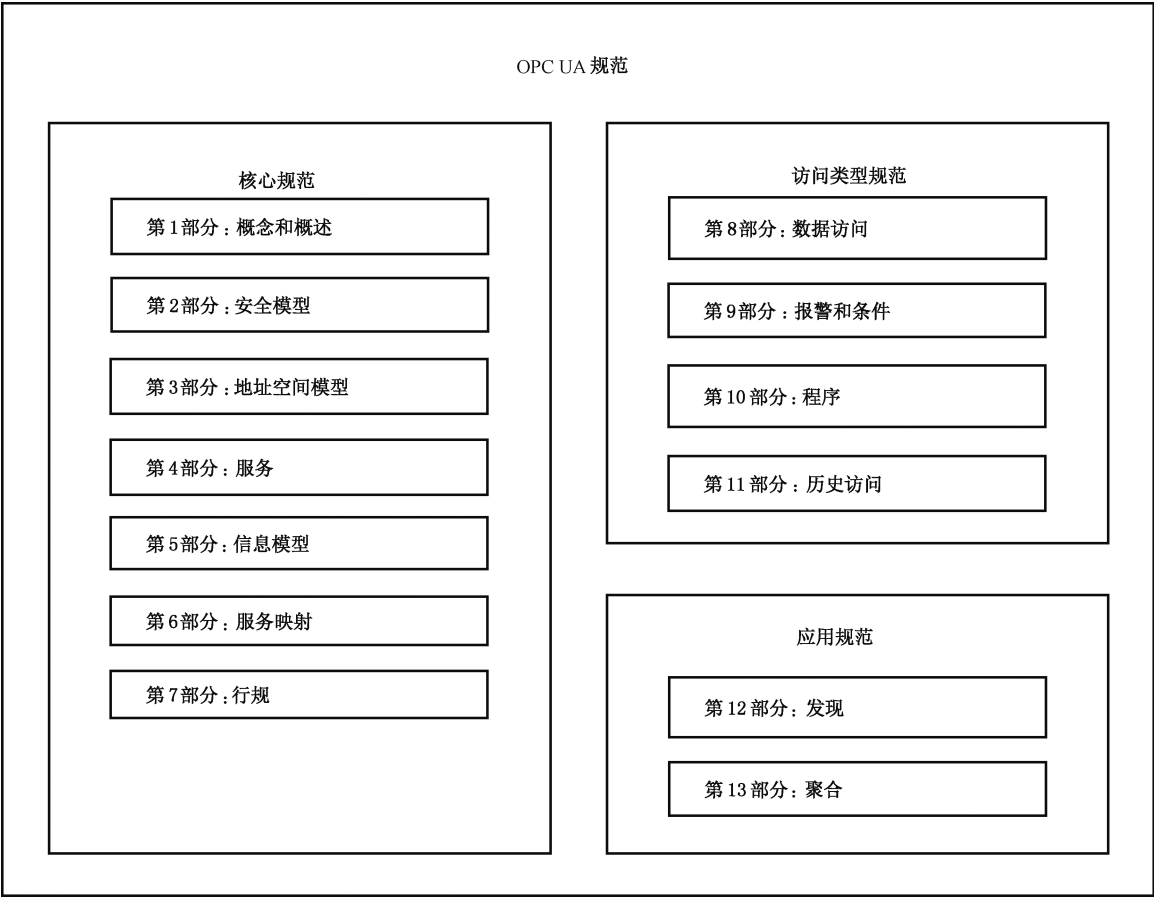


图 A.1 OPC UA 规范框架

GB/T 33863 的核心规范及预计结构如下：

- a) 《OPC 统一架构 第1部分：概念和概述》：给出 OPC UA 的概念和概述；
- b) 《OPC 统一架构 第2部分：安全模型》：描述 OPC UA 客户端和 OPC UA 服务器之间的安全交互模型；
- c) 《OPC 统一架构 第3部分：地址空间模型》：描述服务器地址空间的内容和结构；
- d) 《OPC 统一架构 第4部分：服务》：规定 OPC UA 服务器提供的服务；
- e) 《OPC 统一架构 第5部分：信息模型》：规定 OPC UA 服务器的类型及其关系；
- f) 《OPC 统一架构 第6部分：映射》：规定 OPC UA 支持的传输映射和数据编码；
- g) 《OPC 统一架构 第7部分：行规》：规定 OPC 客户端和服务器的可用行规，这些行规提供可用

于一致性认证的服务组或功能组,服务器和客户端将根据行规进行测试。

GB/T 33863 访问类型规范如下:

- a) 《OPC 统一架构 第 8 部分:数据访问》:规定使用 OPC UA 如何进行数据访问;
- b) 《OPC 统一架构 第 9 部分:报警和条件》:规定使用 OPC UA 如何进行报警和条件访问;
- c) 《OPC 统一架构 第 10 部分:程序》:规定使用 OPC UA 如何进行程序访问;
- d) 《OPC 统一架构 第 11 部分:历史访问》:规定使用 OPC UA 如何进行历史访问,包括历史数据和历史事件。

GB/T 33863 应用规范如下:

- a) 《OPC 统一架构 第 12 部分:发现》:规定发现服务器在不同情况下如何工作,以及描述了 UA 客户端和服务端应如何进行交互,还定义如何使用通用目录服务协议(如 UDDI 和 LDAP)来访问 UA 相关信息;
- b) 《OPC 统一架构 第 13 部分:聚合》:规定如何计算和返回聚合,如最小值、最大值和平均值等,可与基本(实时)数据和历史数据(HDA)一同使用。

A.2 OPC UA 技术概述

A.2.1 概述

OPC UA 定义了以下基本功能:

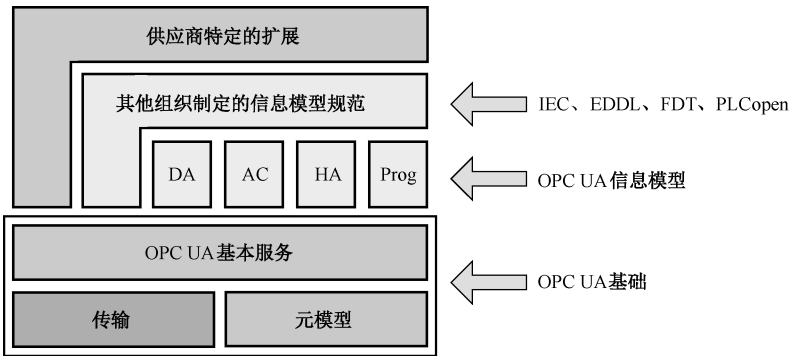
- a) 传输:用于 OPC UA 应用程序之间的数据交换机制;
- b) 元模型:提供 OPC UA 信息模型的建模规则和基础构件;
- c) 服务:建立一个在 OPC UA 服务器和客户端之间的接口,使用传输机制实现客户端和服务端之间的数据交换。

OPC UA 基础规范定义了通用模型(如报警或自动化数据),在基础规范之上定义以下更高级功能的模型:

- a) 数据访问(DA):定义实时数据模型描述,即描述底层工业或业务处理(设备层、控制层)的当前状态和行为,包括模拟量和数字量定义、工程和代码等。数据源为传感器、控制器、编码器等;
- b) 报警和状态(AC):定义处理报警管理和状态监视的高级模型。状态的改变可以触发一个事件,客户端可以注册该事件,并选择想要获取的变量信息(如消息文本、行为确认等);
- c) 历史访问(HA):定义访问历史数据和历史事件的机制。数据可以位于数据库、文档或另一存储系统中;
- d) 程序(Prog):定义启动、操作和监视程序执行的机制。一个“程序”代表一个复杂的任务,如操作和批处理。每个程序包含一个状态机,并把触发消息传递给客户端。

此外,OPC UA 支持其他组织或供应商为特定领域和用例定义的增强功能的专用信息模型。其他组织可在 OPC UA 基础或 OPC 信息模型基础上构造其专用信息模型,供应商可通过直接使用 OPC UA 基础、OPC 信息模型,或其他基于 OPC UA 的信息模型来定义。

图 A.2 给出 OPC UA 的层模型。



A.2.2 OPC UA 基本架构模式

A.2.2.1 客户端—服务器

UPC UA 使用类似经典 OPC 的客户端/服务器概念。为其他应用提供自己信息的应用程序被称为 OPC UA 服务器,使用其他应用程序的信息的应用程序被称为 OPA UA 客户端。OPC UA 客户端和 OPC UA 服务器为交互伙伴。通过分布于网络上的客户端和服务端之间的消息发送,来实现各种类型系统和设备之间的通信。OPC UA 服务器向 OPC UA 客户端提供对当前数据和历史数据的访问,以及通知客户端有重要变化的报警和事件。OPC UA 客户端向 OPC UA 服务器请求数据并将数据提供给其他应用程序。

一个系统可包含多个客户端和服务端。每个客户端可同时与一个或多个服务端交互,每个服务端可与一个或多个客户端交互,如图 A.3 所示。

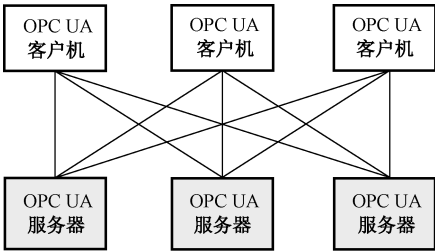


图 A.3 OPC UA 客户端与服务器的交互关系

A.2.2.2 聚合服务器

一个应用程序中可同时包含客户端和服务端,以允许与其他服务器和客户端进行交互,如图 A.4 所示。

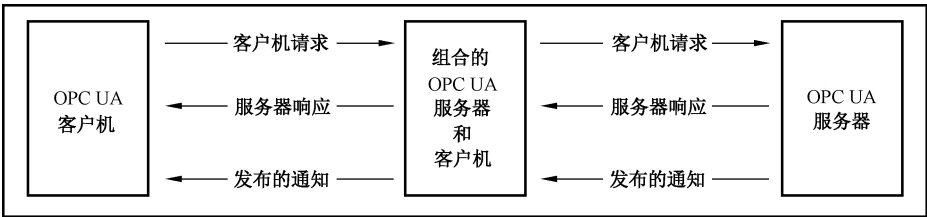


图 A.4 组合的 OPC UA 服务器和客户端概念

A.2.3 OPC UA 数据编码与传输协议

目前,OPC UA 有两种传输协议可供选择,支持两种编码格式:

——基于 TCP 协议:采用优化的二进制流模式,适用于高性能(高速度和吞吐量)应用的企业内部网络通信;

——基于 HTTP/HTTPS Web 服务:采用二进制或 XML 编码的应用,适用于防火墙友好的互联网通信。

图 A.5 示出了 OPC UA 的传输规范。

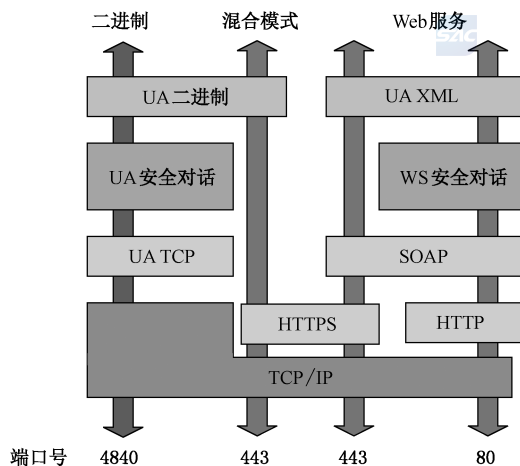


图 A.5 OPC UA 传输规范

A.2.4 OPC UA 服务

OPC UA 以地址空间来限定服务需求,以读写变量或订阅方式来更新数据。OPC UA 通过逻辑组合来组织服务(即服务集),通过客户端和服务端间的服务请求和响应来完成信息交换。OPC UA 提供 9 个基本服务集:

- a) 安全通道(SECURECHANNEL)服务集:包含确定一台服务器安全配置的服务,并建立通信通道,在这个通道内保证交换信息的保密性和完整性。这些服务不在 OPC UA 应用程序中实现,而在 OPC UA 通信栈中实现。
- b) 通信(SESSION)服务集:定义与特定用户在应用层建立连接(会话)的服务。
- c) 节点管理(NODEMANAGEMENT)服务集:为服务器配置提供一个接口,允许客户端能够添加、修改和删除地址空间中的节点。
- d) 视图(VIEW)服务集:定义允许客户端能够通过浏览方式发现节点的服务,浏览方式使得客户端能够向上或向下定位各节点,或者定位两个节点间的对象;这样,客户端就能够定位结构体的地址空间。
- e) 属性(ATTRIBUTE)服务集:定义对象属性读写的服务,属性则是有 OPC UA 定义的原始节点。
- f) 方法(METHOD)服务集:定义调用函数的方式,提供的功能函数可被对象调用,调用完成后返回结果。
- g) 监控项(MONITORDITEM)服务集:用来定义地址空间内的哪些项可被客户端使用,以便通过客户端进行修改,或者哪些事件是客户端感兴趣的。
- h) 订阅(SUBSCRIPTION)服务集:用于生成、修改或删除监控项信息。

- i) 查询(QUERY)服务集:客户端能够使用这些服务并采用特定过滤方式从标准地址空间中获取指定节点。

A.2.5 OPC UA 地址空间与信息模型

A.2.5.1 概述

OPC UA 的对象模型允许将数据、报警、事件和历史数据都集成到一个 OPC UA 服务器的地址空间。这样,例如能够将一个温度测量设备视为一个具有温度值、报警参数和想要报警极限值的对象。

OPC UA 信息模型和地址空间采用分层设计,以促进客户端和服务器的互操作性。每个高阶类型都基于特定的基本规则,这样,仅知道和实施这一基本规则的客户端也可处理复杂的信息模型,即使客户端不了解更深层次关系,但可通过地址空间导航来读写数据变量。

A.2.5.2 地址空间

OPC UA 服务器通过 OPC UA 服务(接口和方法)提供给客户端使用的对象集和相关信息被称为地址空间。地址空间中的节点表示实际对象、对象定义和对象间的引用。服务器可在所选择的地址空间内自由地组织其节点。地址空间中的所有节点都可以通过层次结构到达。节点间的引用允许服务器按层次结构、全网状结构或任何可能的混合结构来组织地址空间,从而地址空间形成一个紧密连接的节点网络。

A.2.5.3 信息模型

OPC UA 允许服务器向客户端提供从地址空间访问的对象类型定义,也允许使用信息模型来描述地址空间内容。从地址空间的角度看,信息模型描述了服务器地址空间的标准化节点。这些节点为标准化类型,并且用于诊断的标准化实例或作为服务器特定节点的入口点。因此,信息模型定义了空的 OPC UA 服务器的地址空间。

OPC UA 地址空间支持信息模型。该支持通过以下提供:

- a) 允许地址空间中对象建立彼此联系的节点引用;
 - b) 为实际对象(类型定义)提供语义信息的对象类型节点;
 - c) 支持类型定义的子类的对象类型节点;
 - d) 允许使用工业特定数据类型的地址空间中可见的数据类型定义;
 - e) 允许工业团体定义如何在 OPC UA 地址空间中表示其特定信息模型的 OPC UA 兼容标准。
- 基本的 OPC UA 规范仅提供信息模型的基础设施,由供应商实现信息模型的建模。

附录 B

(资料性附录)

OPC UA 开发实现

B.1 概述

OPC UA 具有平台无关性,可以在任何操作系统上运行甚至无需操作系统,开发可以使用任何编程语言与开发环境,如 Ansi C/C++、.NET 和 Java 等语言。

B.2 OPC UA 应用架构

为了实现组件或构件重用,OPC UA 应用的开发可按照功能层次进行划分,图 B.1 给出 OPC UA 客户端与服务器之间相交互的软件功能层次模型,包括相应的 OPC UA 应用程序、OPC UA API 以及 OPC UA 通信栈。

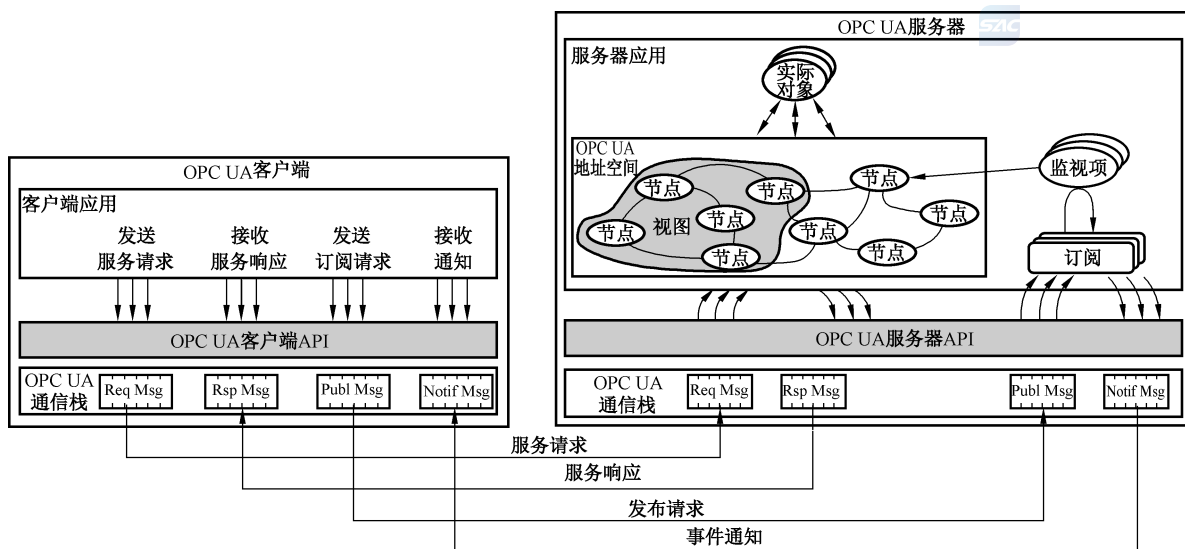


图 B.1 OPC UA 应用程序开发架构

其中：

- OPC UA 客户端/服务器应用:实现作为 UA 客户端/服务器的设备或业务功能的程序或代码;客户端应用使用 OPC UA 客户端 API 向 OPC UA 服务器发送和接收 OPC UA 服务请求和响应;服务器应用使用 OPC UA 服务器 API 发送和接收来自 OPC UA 客户端的 OPC UA 消息。
- OPC UA 客户端/服务器 API:用于分离 OPC UA 客户端/服务器应用代码与 OPC UA 通信栈的内部接口,实现如管理连接(会话)和处理服务报文等功能。
- OPC UA 通信栈:实现 OPC UA 通信通道,包括消息编码、安全机制和报文传输。
- 实际对象:OPC UA 服务器应用可访问的,或 OPC UA 服务器内部维护的物理或软件对象,例如物理设备和诊断计数器。
- OPC UA 地址空间:客户端使用 OPC UA 服务(接口和方法)可访问的服务器内节点集;节点

用于表示实际对象、对象定义和对象间的引用。

B.3 基于 SDK 的 OPC UA 开发实现

B.3.1 概述

OPC UA 服务器和客户端的开发推荐采用基于软件开发包 SDK 的开发方式。SDK 实现了 OPC UA 规范定义的概念和服务,向应用开发者隐藏了 OPC UA 通信和服务的细节,并为之提供相应的 API。

常见的 OPC UA SDK 供应商包括 MatrikonOPC、Softing、Prosys、Unified Automation 等公司。这些公司的 SDK 一般以库的形式提供,但可能限定编译器和运行机器的个数。有些 SDK 还可以源码形式提供,但使用要求受限。例如,OPC UA 基金会会员,可以免费获取有限的 OPC UA 开源代码,但客户可在其基础上进一步开发。

B.3.2 OPC UA SDK 功能

OPC UA 服务器 SDK 提供的功能主要包括以下内容:

- a) 提供包括基于 UA TCP 和 SOAP/HTTP 的 OPC UA 通信,如作为服务器进行客户端报文的接收;
- b) 提供安全模型功能,如签名校验、解密等;
- c) 提供读写属性、浏览结构等相关的服务,如作为服务器对客户端的读、写、订阅进行响应;
- d) 提供创建地址空间相关的各类接口,如创建结构节点、创建数据节点(一般数据点、模拟量、离散量、多态等);
- e) 提供这些节点相关的支持以形成节点之间的关系。

OPC UA 客户端 SDK 提供的功能主要包括以下内容:

- a) 提供包括基于 UA TCP 和 SOAP/HTTP 的 OPC UA 通信,如作为客户端进行连接操作;
- b) 提供安全模型功能,如签名、加密等;
- c) 提供浏览地址空间,读、写节点属性,订阅数据改变和属性等相关服务的接口。

B.3.3 业务相关功能的开发

业务相关功能的开发是指开发 OPC UA 服务器和客户端特定功能。

对于基于 SDK 的服务器开发,业务功能开发主要包括:

- a) 构建用户的地址空间模型;
- b) 对用户地址空间节点数据进行管理和维护,如地址空间一个模拟量数据节点的值如何更新;
- c) 通信相关驱动的开发(主要针对嵌入到设备的 OPC UA 服务器);
- d) 其他必要的工作。

对于基于 SDK 的客户端开发,业务功能开发主要包括:

- a) 一般的用户接口,用户可进行输入和输出;
- b) 配置管理,用户可选择访问服务器的哪些数据以及访问方式,如轮询、订阅等不同方式;
- c) 其他必要的功能。

对于基于 SDK 的 OPC UA 服务器开发,大部分工作量在于地址空间的建立、管理与维护。OPC UA 提供了标准地址空间结构,如图 B.2 所示,但是服务器开发者可根据不同系统或设备功能需求,构建自己的地址空间或信息模型,例如数控机床信息模型与 PLC 模型不同。对于基于 SDK 的 OPC UA 客户端开发,大部分工作量在于实现可配置的访问地址空间功能。

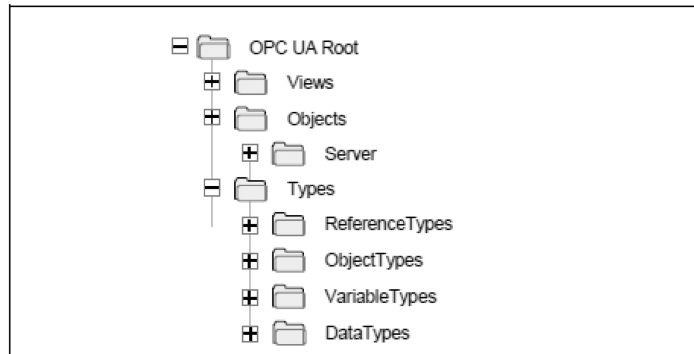


图 B.2 OPC UA 标准地址空间

B.4 OPC UA 开发和应用考虑

B.4.1 资源受限考虑

对于嵌入式 OPC UA 服务器,设备开发商可考虑由于使用 OPC UA 技术或通信栈带来的诸如内存、CPU 等的资源受限问题,例如在单片机等低资源硬件平台上开发最好先进行资源评估。

B.4.2 实时性考虑

当现场设备与 SCADA、MES 等系统通过 OPC UA 直接集成时,可考虑这些系统对现场设备操作的合理性,如不宜过度频繁操作以影响现场设备的实时性。

B.4.3 安全性考虑

OPC UA 提供安全模型,支持用户认证鉴别、报文加密、安全会话等功能,但安全性对系统资源有一定要求,也会影响实时性,因此,对于实时性要求不高的应用例如 500 ms 量级,从管理层如 MES 系统对现场设备进行 OPC UA 操作可考虑使用安全机制。

B.5 面向机械加工行业的 OPC UA 架构应用导则

机械加工行业典型的智能制造装备包括数控机床、工业机器人、仓储物流系统、PLC 和其他测量控制设备等。图 B.3 给出面向机械加工行业的基于 OPC UA 的数字化车间互联网典型架构。

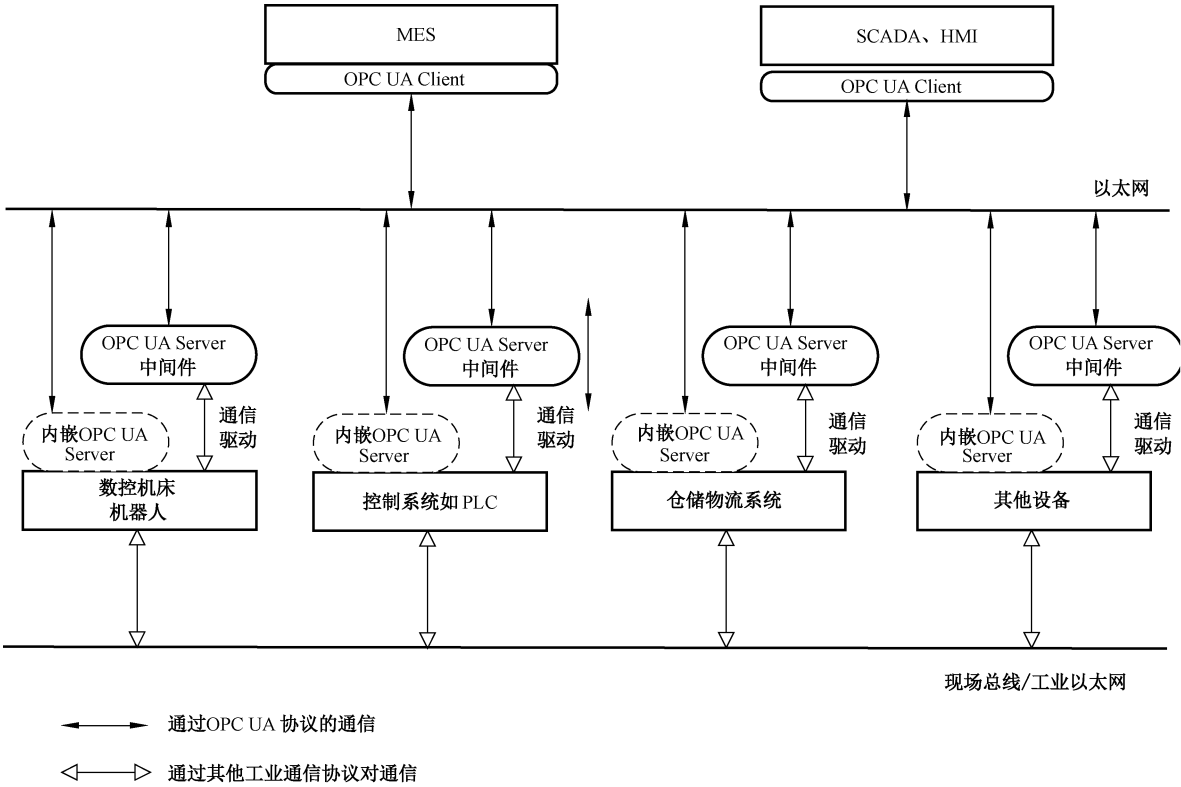


图 B.3 面向机械制造行业的典型架构

详细说明如下：

- a) 数控机床、工业机器人等大型智能装备，本身包括控制系统/器(如 CNC 数控系统、机器人控制器等)，这类装备本身可支持 OPC UA 接口。例如，西门子 840D 数控系统内嵌 OPC UA 服务器，则采用了 840D 的数控机床就可提供 OPC UA 接口，由数控机床制造商负责提供设备的信息模型(即建立数控机床 OPC UA 服务器的地址空间)。MES 系统只需支持 OPC UA 客户端功能即可。对于不支持 OPC UA 接口的大型智能装备，系统集成商可开发 OPC UA 中间件来构造设备的信息模型，前提是这些设备具有开放的通信接口和参数/属性说明。
- b) 其他现场设备(如采集现场数据的传感器等)，可能支持特定的现场总线协议(如 Modbus、PROFIBUS、PROFINET 等)，因此，可根据设备支持的通信协议和设备参数/属性，开发 OPC UA 中间件，以集成到 SCADA 或 MES 系统。
- c) 仓储物流系统一般通过单独的 WMS 系统实现统一管理，因此，可在 WMS 内嵌入 OPC UA 服务器，或开发 OPC UA 中间件，以集成到 SCADA 或 MES 系统。
- d) PLC 作为控制设备可以接受 MES、SCADA 下发的指令，MES、SCADA 也可获取 PLC 的数据，这可通过 OPC UA 实现。PLC 可直接内嵌一个 OPC UA 服务器，或开发 OPC UA 中间件实现集成。
- e) MES 系统与 PLM、ERP 系统的集成可以选择 OPC UA、Webservice 等多种接口。

B.6 OPC UA 开发实现示例

B.6.1 概述

为了实现机械加工、检测、物流等设备与 MES、SCADA 等系统的互联互通，可实现统一架构的相关内容，主要包括两类：

- a) 设备内嵌 OPC UA 的实现；
- b) 基于中间件(软件或硬件)的实现。

B.6.2 数控机床内嵌 OPC UA 服务器的实现示例

B.6.2.1 实现内容

以数控机床为例,说明设备内嵌 OPC UA 服务器的开发过程。开发过程包括如下部分：

- a) 构建数控机床信息模型；
- b) 生成地址空间；
- c) 地址空间的管理。

实现目标是数控机床的数控系统(CNC 控制器)内嵌 OPC UA 服务器,提供包括状态、轴转速等信息。

B.6.2.2 信息模型构建

数控机床的信息模型如图 B.4 所示。

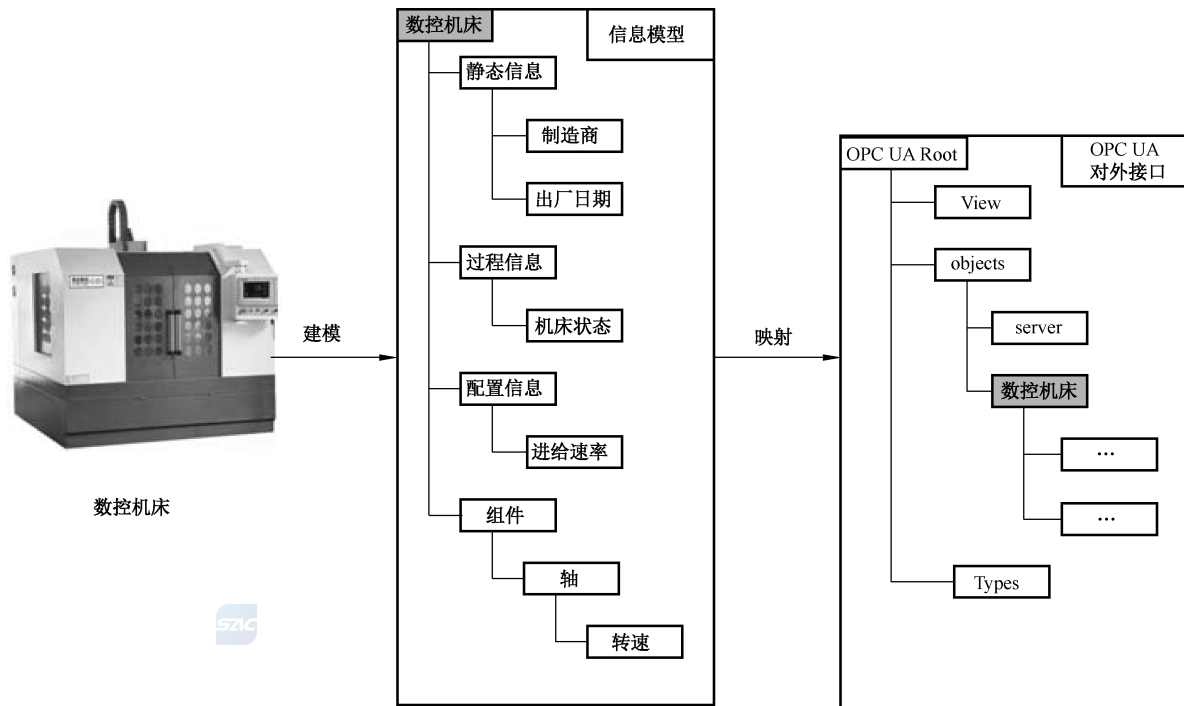


图 B.4 数控机床的信息模型

数控机床的信息模型包含如下元素(仅示意,数控机床的信息模型信息不限于此)：

- a) 静态信息:包含了制造商和出厂日期；
- b) 过程信息:包含了机床状态信息；
- c) 配置信息:包含了进给速率；
- d) 包含的组件:机床的组件包含了主轴,主轴包含转速元素。

B.6.2.3 地址空间映射

由设备信息模型和相关元素确定向 OPC UA 地址空间映射的规则,主要工作是利用 OPC UA 的元模型来构造数控机床的信息模型,如表 B.1 所示。

表 B.1 数控机床信息模型映射过程

序号	信息模型元素点	OPC UA 元模型类型	引用关系	备注
1	数控机床	Folder 对象类型	在根节点下组织引用	
2	静态属性	Folder 对象类型	在数控机床节点下组织引用	
3	制造商	DataItemType 类型	在静态属性节点下有属性引用	
4	出厂日期	DataItemType 类型	在静态属性节点下有属性引用	
5	过程属性	Folder 对象类型	在数控机床节点下组织引用	
6	机床状态	MultiState DiscreteType 类型	在过程属性节点下有属性引用	这个可以使用多个状态类型来表示,如 0 正常、1 报警、2 故障等
7	配置属性	Folder 对象类型	在数控机床节点下组织引用	
8	进给速度	AnalogItemType 类型	在配置属性节点下有属性引用	由于这个值是可写的,因此可按照模拟量输出来进行相应的处理
9	组件	Folder 对象类型	在数控机床节点下组织引用	
10	轴	Folder 对象类型	在组件节点下组织引用	
11	转速	AnalogItemType 类型	在配置属性节点下有属性引用	由于这个值是只读的,因此可按照模拟量输入来进行相应的处理

B.6.2.4 地址空间管理

对于嵌入式 OPC UA 服务器的开发而言,数据采集的驱动已经完成,这些数据点已经在系统内存中,因此,地址空间管理主要是根据建立的映射表来实现相应的读、写、订阅操作,如图 B.5 所示。

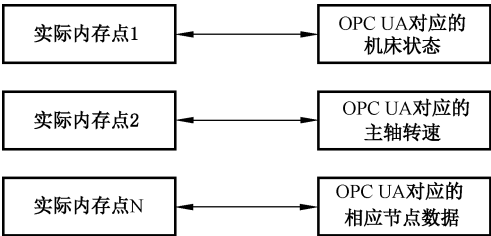


图 B.5 地址空间管理

数据流向包括:

- a) 内存数据点改变时更新到 OPC UA 地址空间中;
- b) 当 OPC UA 客户端读取节点数据时,直接从 OPC UA 地址空间返回相应节点的数据;
- c) 当 OPC UA 客户端订阅节点时,系统可提供一套机制来维护内存点信息值与 OPC UA 地址空间节点值的变化对应;
- d) 当 OPC UA 客户端写数据时,系统可提供一套机制保证内存点的更新与实际的设备 IO 进行关联。

B.6.3 Modbus 设备采集模块实现

B.6.3.1 目标和流程

以 Modbus 设备采集模块为例,说明基于中间件(软件或硬件)的开发过程。开发过程如下:

- a) 驱动相关开发;
- b) 构建信息模型;
- c) 生成地址空间;
- d) 地址空间的管理。

开发目标是实现 Modbus RTU 设备(一个温湿度传感器)管控并以 OPC UA 接口形式对外提供信息,标准的 OPC UA 客户端可以进行读、写、订阅等操作,Modbus 采集模块如图 B.6 所示。

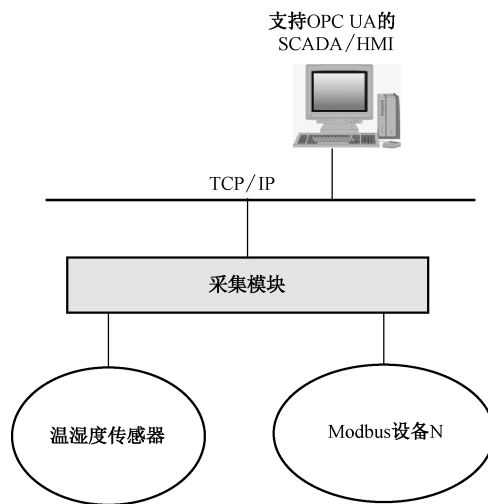


图 B.6 Modbus 采集模块

B.6.3.2 驱动开发

如果制造商不提供相关通信接口和参数/属性说明,中间件开发无从谈起。因此,第一步可了解设备采用的通信协议/接口,以及设备能够提供的数据、数据相关的属性、该类数据更新频率等属性。通信驱动开发分为两类:

- a) 标准协议接口:如本示例采用的是 Modbus RTU 协议,该协议是标准公开的,只要知道通信波特率和设备参数/属性说明,就可按照 Modbus 协议通过读写寄存器完成,本示例宜开发 Modbus 主站功能;
- b) 非标准协议:如设备使用的是企业私有协议,则还需要知悉设备使用的通信协议,以及如何获取数据。

B.6.3.3 构建信息模型

由设备信息模型和相关元素确定向 OPC UA 地址空间映射的规则,主要工作是利用 OPC UA 的元模型来构建温湿度传感器的信息模型,如图 B.7 所示。

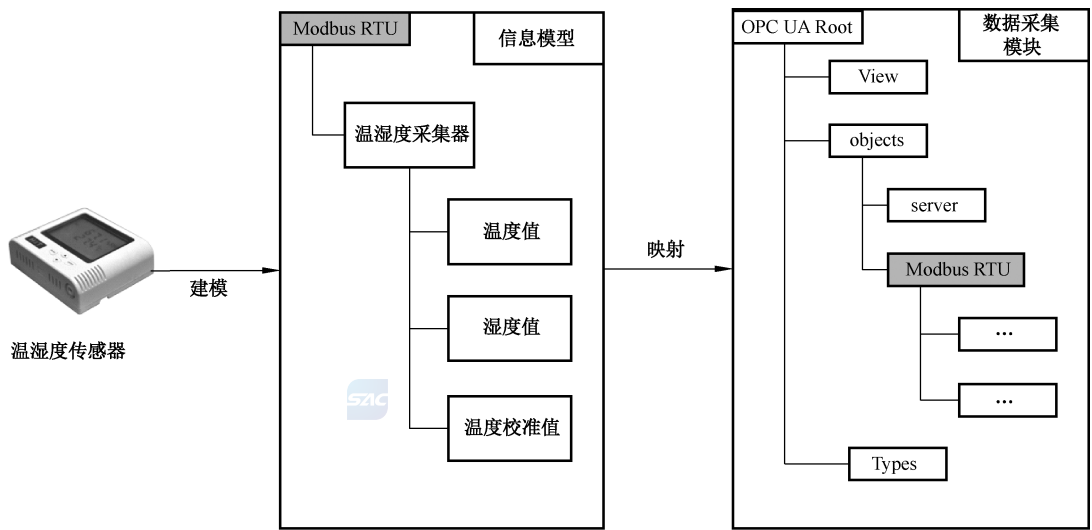


图 B.7 构建信息模型

温湿度传感器包括两个采集温度值和湿度值以及一个配置参数温度校准值,同时温湿度传感器作为 Modbus 模块具有设备地址、通信波特率等参数。

B.6.3.4 地址空间映射

温湿度传感器信息模型到 OPC UA 地址空间映射过程如表 B.2 所示。

表 B.2 温湿度传感器信息模型映射过程

序号	信息模型元素点	OPC UA 元模型类型	引用关系	备注
1	Modbus RTU	Folder 对象类型	在根节点下组织引用	
2	温湿度传感器	Folder 对象类型	在 Modbus RTU 节点下组织引用	
3	温度值	AnalogItemType 类型	在温湿度传感器节点下有属性引用	由于这个值是只读的,因此可按照模拟量输入来进行相应的处理
4	湿度值	AnalogItemType 类型	在温湿度传感器节点下有属性引用	由于这个值是只读的,因此可按照模拟量输入来进行相应的处理
5	温度校准值	AnalogItemType 类型	在温湿度传感器节点下组织引用	由于这个值是可写的,因此可按照模拟量输出来进行相应的处理

B.6.3.5 地址空间管理

地址空间的管理与设备内嵌 OPC UA 的机制基本一致。

附 录 C

(资料性附录)

OPC UA 的兼容性

C.1 概述

推荐使用 OPC UA 作为数字化车间统一互联的技术,但是目前 OPC UA 还属于比较新的技术,在实际的工厂中相关应用比较少,支持经典 OPC、Modbus 等协议的设备众多,因此在使用 OPC UA 技术的同时如何保护用户的资产和投入变得非常重要。

对于这种情况可使用标准协议转换软件/设备以解决兼容性问题,协议互转如图 C.1 所示,这些软件/设备可支持如下功能:

- a) OPC/OPC UA 转换软件,一般运行在 PC 环境下;
- b) Modbus RTU、Modbus TCP/OPC UA 转换模块,一般需要硬件平台支持,为嵌入式设备;
- c) PROFIBUS/OPC UA、PROFINET/OPC UA 转换模块,一般需要硬件平台支持,为嵌入式设备;
- d) 其他类似协议。

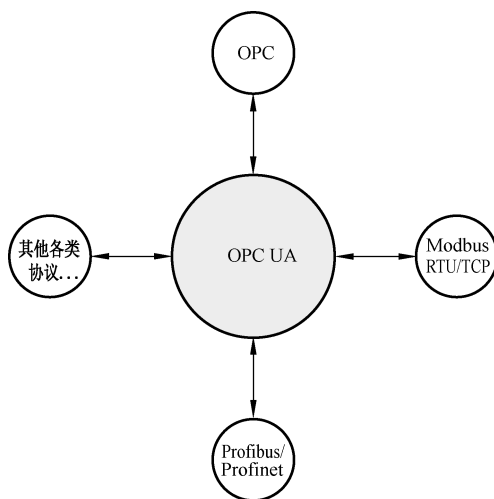


图 C.1 协议转换示意

C.2 OPC/OPC UA 兼容性解决方案示例

C.2.1 概述

很多国外公司已经开发出 OPC/OPC UA 兼容性中间件,用户无需特殊的配置即实现无缝集成,包含两类产品:UA 代理(UA Proxy)和 UA 包装器(UA Wrapper)。

C.2.2 UA Proxy

UA Proxy 使得经典 OPC 客户端应用(SCADA、MES、ERP 等)可无缝访问 OPC UA 服务器设备(这些设备既可以运行在 PC 平台也可以运行在嵌入式平台),如图 C.2 所示。

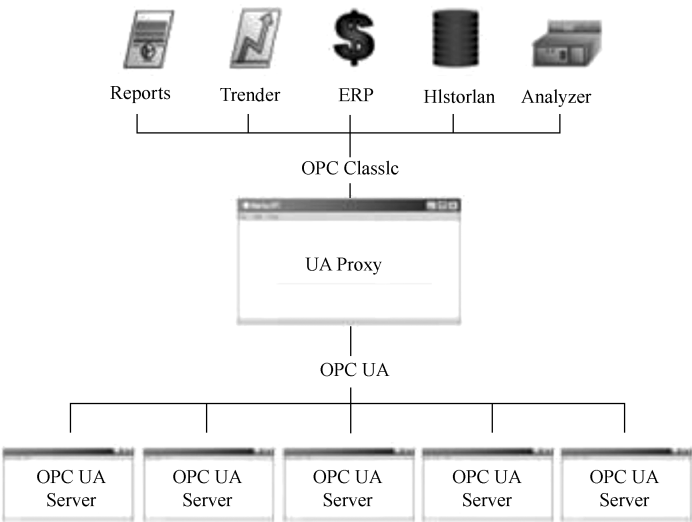


图 C.2 UA Proxy 示意图

- UA Proxy 一般具有如下特性：
- 向导式建立配置；
 - 非常容易使用,无需了解太多的 OPC UA 知识；
 - 不会破坏现在的 OPC 体系结构；
 - 提供 UA 安全；
 - 剔除 DCOM 技术或者防火墙问题；
 - 提供实时数据。

C.2.3 UA Wrapper

UA Wrapper 使得 OPC UA 客户端应用可无缝访问 OPC 经典服务器系统,如图 C.3 所示。

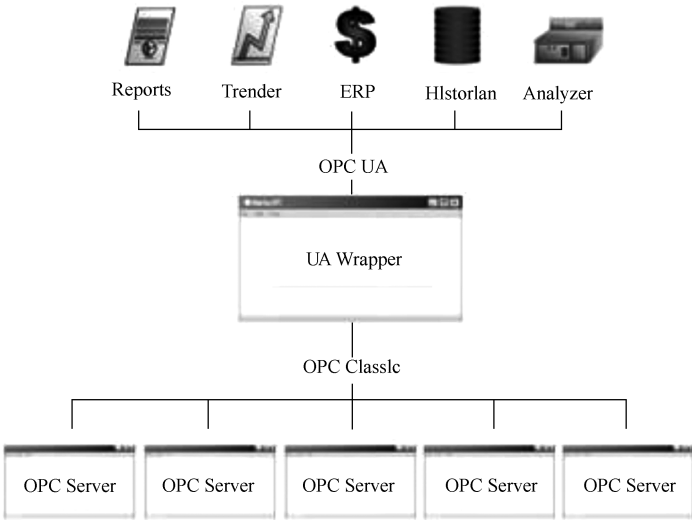


图 C.3 UA Wrapper 示意图

- UA Wrapper 一般具有如下特性：
- 向导式建立配置；

- 非常容易使用,无需了解太多的 OPC UA 知识;
- 不会破坏现在的 OPC 体系结构;
- 提供 UA 安全;
- 提供实时数据。

C.3 兼容性声明

表 C.1 是 OPC UA 实现可提供的兼容性信息,如支持则用“☑”表示。

表 C.1 OPC UA 兼容性声明(必备)

UA 接口		<input type="checkbox"/> 服务器 Server
		<input type="checkbox"/> 客户端 Client
		<input type="checkbox"/> 网关 Gateway
		<input type="checkbox"/> 发现 Discovery
UA 数据类型		请尽可能多地列举
<div></div> <div>支持的服务</div>		<input type="checkbox"/> FindServers
		<input type="checkbox"/> ModifySubscription
		<input type="checkbox"/> SetPublishingMode
		<input type="checkbox"/> Publish
		<input type="checkbox"/> Republish
		<input type="checkbox"/> TransferSubscriptions
		<input type="checkbox"/> DeleteSubscriptions
		<input type="checkbox"/> CloseSession
		<input type="checkbox"/> Cancel
		<input type="checkbox"/> QueryFirst
		<input type="checkbox"/> QueryNext
		<input type="checkbox"/> CreateMonitoredItems
		<input type="checkbox"/> ModifyMonitoredItems
		<input type="checkbox"/> SetMonitoringMode
		<input type="checkbox"/> SetTriggering
		<input type="checkbox"/> CreateSubscription
		<input type="checkbox"/> UnregisterNodes
		<input type="checkbox"/> RegisterNodes
		<input type="checkbox"/> GetEndpoints
		<input type="checkbox"/> RegisterServer
		<input type="checkbox"/> AddNodes
		<input type="checkbox"/> AddReferences
		<input type="checkbox"/> DeleteNodes

表 C.1 (续)

支持的服务		<input type="checkbox"/> DeleteReferences
		<input type="checkbox"/> Read
		<input type="checkbox"/> HistoryRead
		<input type="checkbox"/> Write
		<input type="checkbox"/> HistoryUpdate
		<input type="checkbox"/> Call
		<input type="checkbox"/> Browse
		<input type="checkbox"/> BrowseNext
		<input type="checkbox"/> TranslateBrowsePathsToNodeIds
		<input type="checkbox"/> DeleteMonitoredItems
传输		<input type="checkbox"/> UA-TCP UA-SC Binary Profile
		<input type="checkbox"/> SOAP-HTTP WS-SC UA Binary Profile
		<input type="checkbox"/> SOAP-HTTP WS-SC UA Xml Profile
		<input type="checkbox"/> SOAP-HTTP WS-SC XML-UA Binary Profile
UA 信息安全		<input type="checkbox"/> SecurityPolicy-None
		<input type="checkbox"/> SecurityPolicy-Basic128Rsa15
		<input type="checkbox"/> SecurityPolicy-Basic256
期望的 UACTT 版本号		
服务器最大连接数		
客户端最大连接数		无限制请填写 0
最多可创建订阅数		无限制请填写 0
最多可创建节点数		无限制请填写 0
UA 行规		请尽可能多的列举

表 C.2 是 OPC UA 实现可选提供的兼容性信息,如支持则用“☑”表示。

表 C.2 OPC UA 兼容性声明(可选)

开发所用的编程语言	<input type="checkbox"/> ANSI C
	<input type="checkbox"/> C++
	<input type="checkbox"/> . NET
	<input type="checkbox"/> Java
	<input type="checkbox"/> JavaScript
	<input type="checkbox"/> Python
	<input type="checkbox"/> Perl
	<input type="checkbox"/> Pascal
	<input type="checkbox"/> 其他
SDK	基于哪个厂家的 SDK\协议栈软件做的开发
SDK 版本号	请提供完整版本号,例如:v1.0.01-x64-beta.

参 考 文 献

- [1] GB/T 34064—2017 通用自动化设备 行规导则
 - [2] GB/T 37393—2019 数字化车间 通用技术要求
 - [3] IEC 61499-1:2012 功能块 第1部分:框架(Function blocks—Part1:Architecture)
 - [4] IEC 62264-1:2013 企业控制系统集成 第1部分:模型与术语(Enterprise-control system integration—Part1:Models and terminology)
 - [5] IEC 62541(所有部分) OPC 统一架构(OPC unified architecture)
 - [6] 国家智能制造标准体系建设指南(2018年版).中华人民共和国工业和信息化部,国家标准化管理委员会.2018年8月.
 - [7] 实施“工业4.0”攻略的建议.德国联邦教育部.2013年9月.
-