

1 基于云边端协同的工业 PON 边缘智能系统测试床

1.1 引言/导读

中国电信研究院是中国电信集团公司为适应集团发展和需要而组建的重要科研机构。主要研究电信技术发展趋势与战略，研究技术发展政策，研究网络、技术与业务发展规划，研究技术体制和标准，负责新技术和新设备入网测试评估，进行决策软科学研究和发展研究，网络管理和业务管理等支撑系统的开发，应用软件研究与系统集成，开发电信新业务和增值业务等，为集团公司和各省子公司提供决策支撑、技术支撑、信息支撑。

上海理想信息产业（集团）有限公司，成立于1999年，属于中国电信全资子公司，注册资本7000万元，是上海市投资规模较大的信息技术企业之一。2019年挂牌5G+工业互联网产业基地。公司定位于电信与IT产业融合的ICT服务商形象，工业互联网平台开发和集成典型企业，挂牌上海互联网大数据工程技术研究中心，近两年成功申请智能制造相关领域的工信部专项10项，自主研发的《中国电信工业大数据平台》入选工信部2021年大数据发展试点示范项目。大数据、云计算与工业互联网相关软件著作权200余项。近年来，参与国家工业互联网大数据中心平台、中国商飞在役飞行大数据集成管理系统、中船704所工业数据采集与监控系统、沪东造船钢板质量检测、中建钢构工业互联网平台、中联重科工业互联网平台等多项工业互联网与工业大数据领域项目建设。

中钞油墨有限公司是国内唯一的专业印钞油墨制造企业，隶属于中国印钞造币总公司。作为一家将“用色彩和品质守护真实”作为使命的高新技术企业，中钞油墨有限公司成立20年来，专注于印钞油墨和防伪油墨两个细分领域，为钞票、证件、证券、票据以及政府与企业的重要文件和产品提供保护。中钞油墨有限公司紧盯科技发展潮流，聚焦装备制造前沿，以满足新一代人民币研发对重大技术装备的需求为目标，加快大数据、工业物联网、云计算等智能化技术与装备制造

的深度融合，推动核心装备高端化、智能化、自主化，为行业高质量发展提供更有力的装备保障。

1.2 关键词

工业PON，云边端协同，边缘计算，数据采集

1.3 测试床项目承接主体

1.3.1 发起公司和主要联系人联系方式

中国电信集团公司

中国电信研究院 于啸 18918289369

上海理想信息产业（集团）有限公司 蔡一晓 18901679686

中钞油墨有限公司 张鹏 13564028492

1.3.2 合作公司

烽火通信科技股份有限公司

1.4 测试床项目目标

印钞油墨生产车间油墨品种多、工序集中造成现场生产组织难、质量跟踪困难等问题，为了提高数据交互的及时性、稳定性和抗干扰能力和油墨质量全流程跟踪，解决公司工业设备种类多、操作终端多、对网络通信方式要求多的难题，需要在完善胶印设备数据采集和传输的基础上，基于工业PON网建立车间级数据采集边缘网关模块，实现生产现场的实时化、透明化、智能化，实时监测生产现场设备运转，及时掌握生产进度等信息，通过物联网技术、数据采集技术等，采集设备在生产过程的实时检测数据，实现现场各种设备等异构系统数据的实时获取，建立与设备相关的制造过程统一数据标准，将数据存入制造数据中心，为生

产系统提供基础数据。

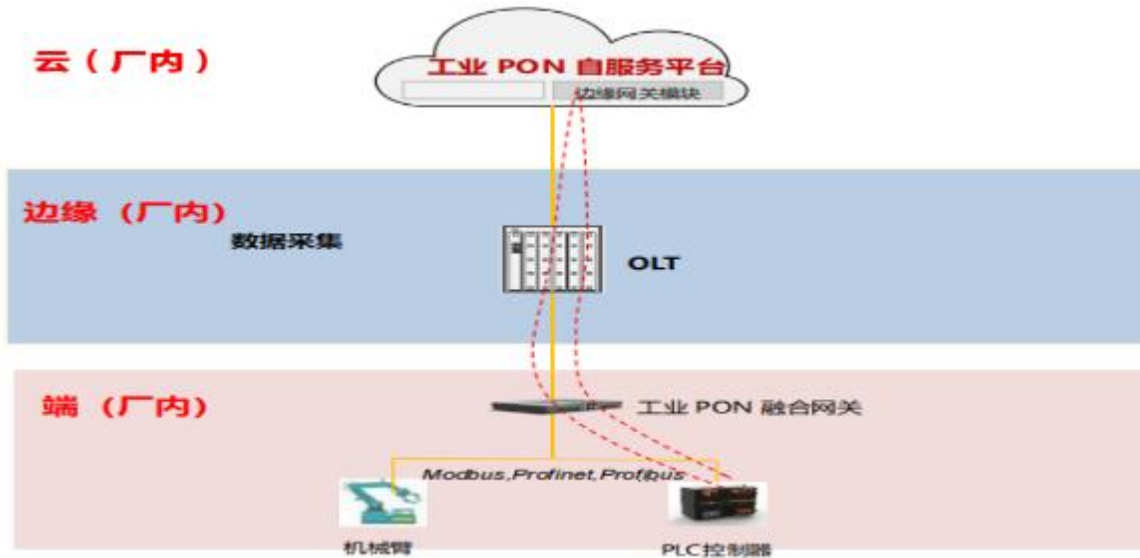
应用工业PON构建边云协同的网络架构，通过开放式可编程OLT、具备边缘计算能力的工业PON融合终端和基于SDN架构的工业PON自服务平台的协同应用，提供了分布式、可灵活调度的算力设施，发挥连接+算力一体化优势，探索高效支撑IT与OT融合的应用。

1.5 测试床方案架构

1.5.1 测试床应用场景

1. 工业数采场景

工业PON融合网关向下支持多种端侧的工业设备（含机械臂）和PLC控制器的接入和数采，同时支持多种主流PLC协议；向上连接OLT，提高响应速度和数据安全性；最终将数据传送至工业PON自服务平台，在云端完成数据汇聚，实现边缘数采、工业视觉检测、边云协同应用等功能。

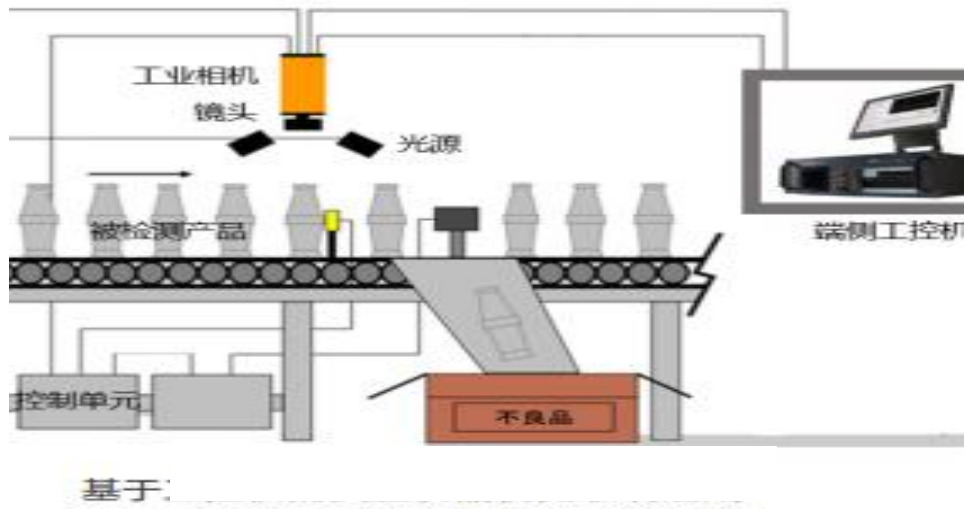


图：工业数采场景

2. 工业视觉场景

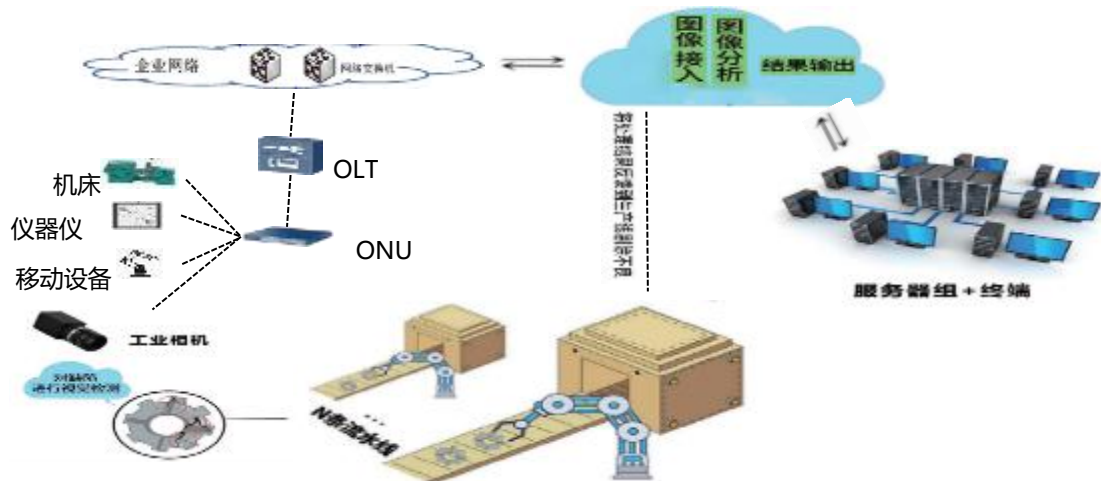
传统机器视觉在工业上的典型应用主要有定位、识别、测量和检测。机器视觉业务主要包含以下两个特点：一是包含大量的非结构化数据，二是数据体量大、存储时间长。因此工业视觉存在存储有限、算法管理不便以及算力复用率低等问

题。



图：传统基于工控机的典型视觉系统

采用机器视觉创新系统，单工业相机上行带宽通常500M以上，普通无线通信无法满足要求，工业PON可以保证大量数据单位时间内实时传输的需求，实现机器视觉由传统本地模式向本地推理+云端训练的云边协同模式转变。

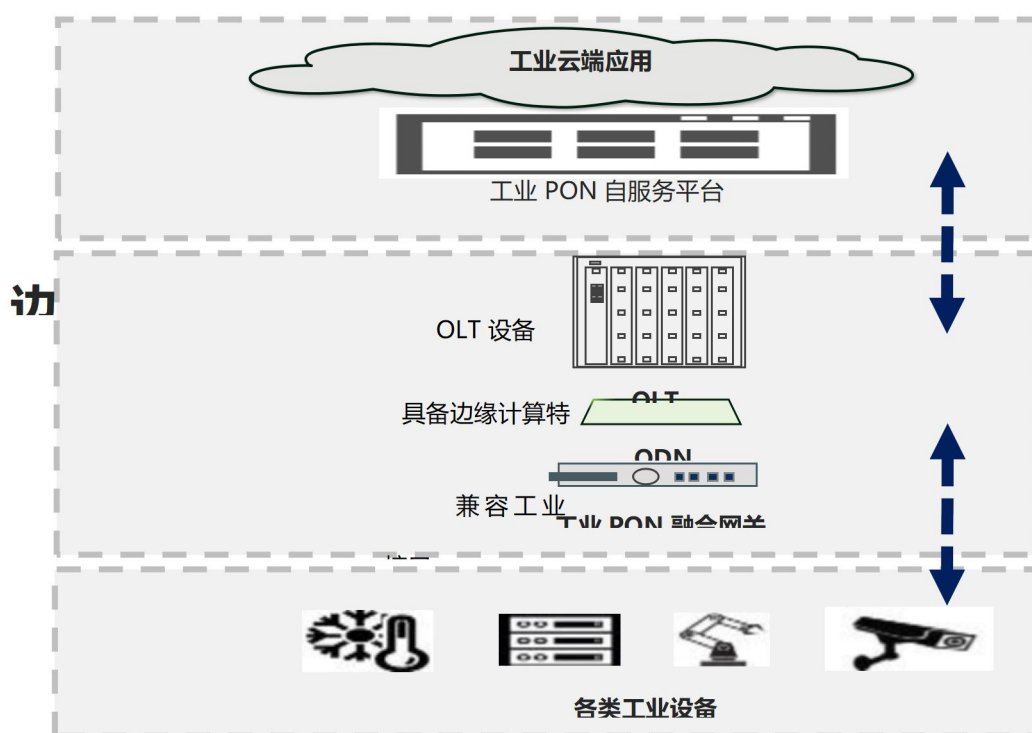


图：工业 PON 光网支撑下的基于边缘计算的机器视觉系统

1.5.2 测试床架构

1. 测试床架构

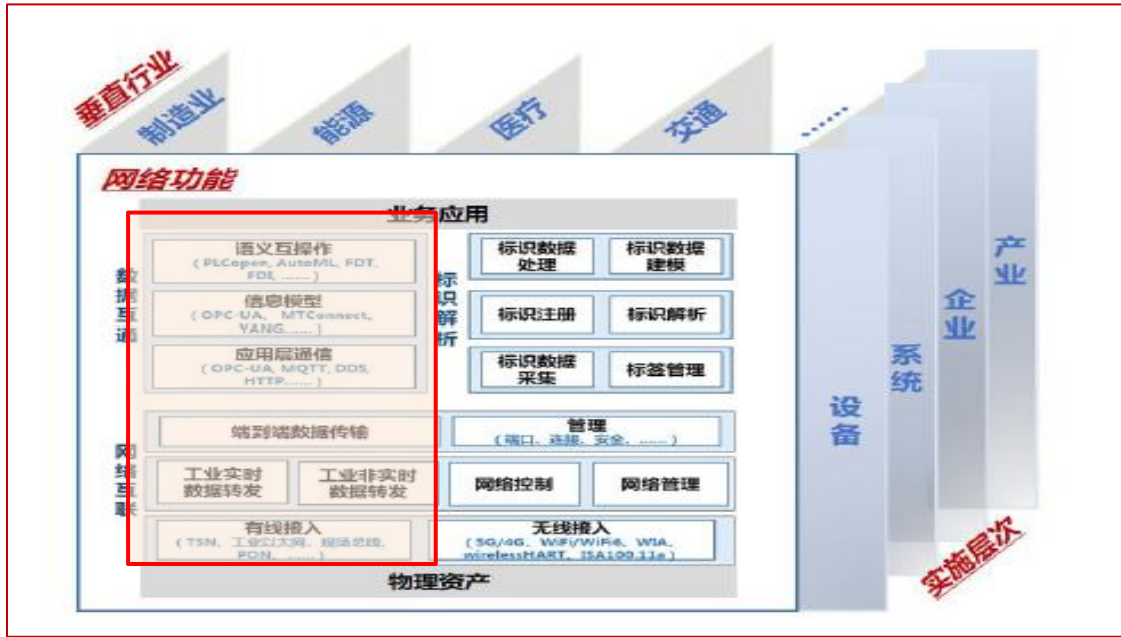
本方案的边侧为工业 PON 融合网关，向下与端侧的设备相连，向上连接 OLT 设备。云侧即工业 PON 自服务平台，平台包含了边缘网关模块，基于容器对于工业 PON 融合网关进行设备管理和数采协议、工业应用等向下推送加载至端侧工业 PON 融合网关。



图：测试床总体架构

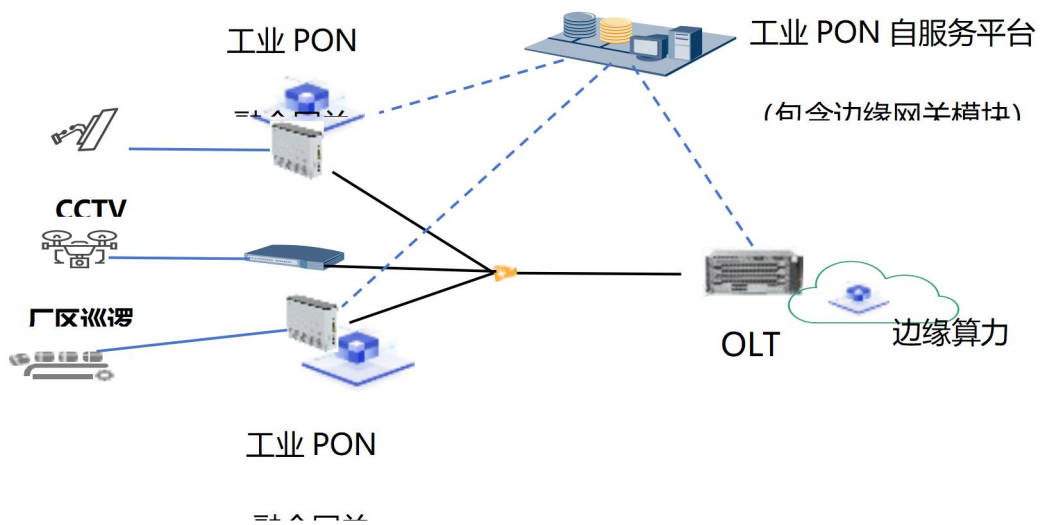
2. 测试床与 AII 总体架构的关系

本测试床聚焦在 AII 互联网架构的有线接入，工业数据转发，端到端传输及数据互通主；垂直行业为制造业；实施层次主要包含了设备和系统，设备是工业 PON 融合网关，系统则是工业 PON 自服务平台。



图：工业互联网体系架构 2.0：功能原理

测试床实施架构如图6所示。



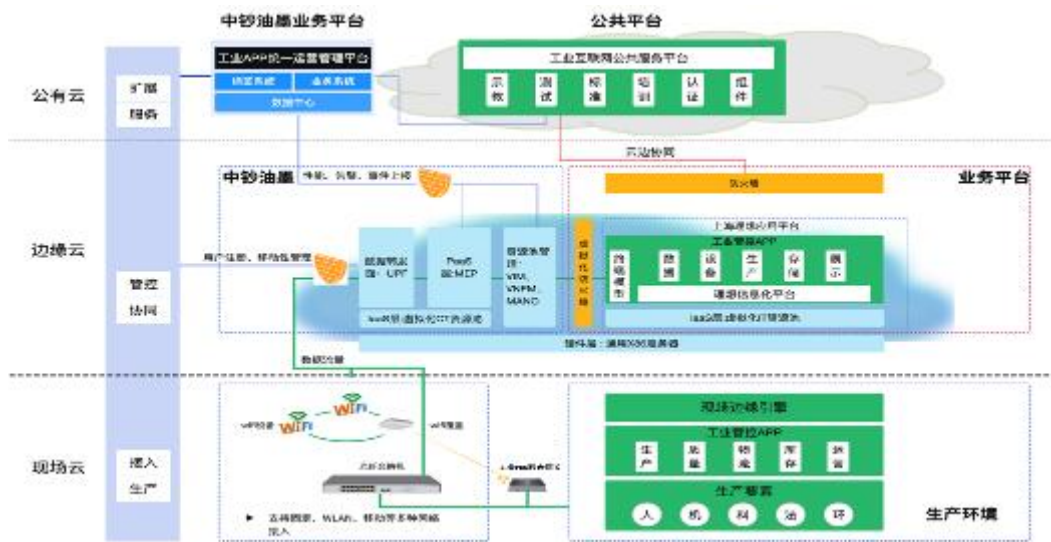
图：测试床实施架构

1.5.3 测试床方案

以物联网、设备数据采集和边缘计算为技术基础，通过工业PON融合网关对现场设备进行连接，通过数采协议将设备的运行状态、工艺参数等数据实时上传

给控制系统，实现设备状态、参数等动态数据的全面感知与数据汇聚。

为实现现场工业设备感知数据的快速采集，可在工业PON自服务平台的边缘网关模块上建立设备模型，即实体设备对应的模型。根据设备进行数采时设置的数据节点为该模型分配对应的模型节点，即人工定义网关数采的预制模版，生成虚拟数采接口。工业PON融合网关进行感知数据采集的任务下发，边缘侧的工业PON融合网关获取到云端平台的指令后，按照人工定义好的预制模版进行感知数据的采集，通过网关的心跳轮询机制对云端进行结果的实时上报，实现平台应用下的边缘侧的设备数据采集。

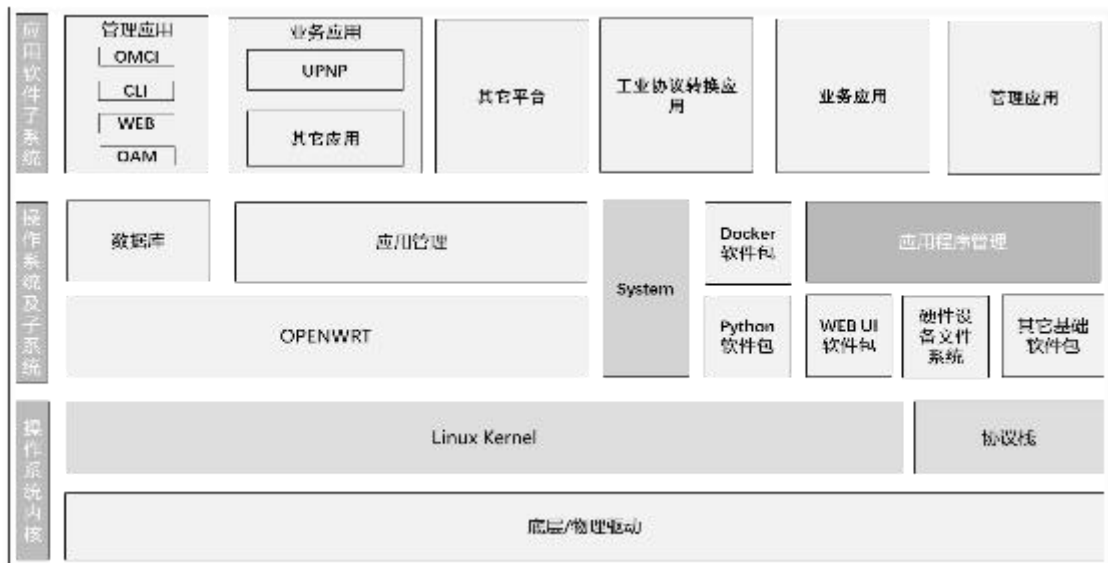


图：测试床架构

1.5.4 方案重点技术

1. 工业PON融合网关

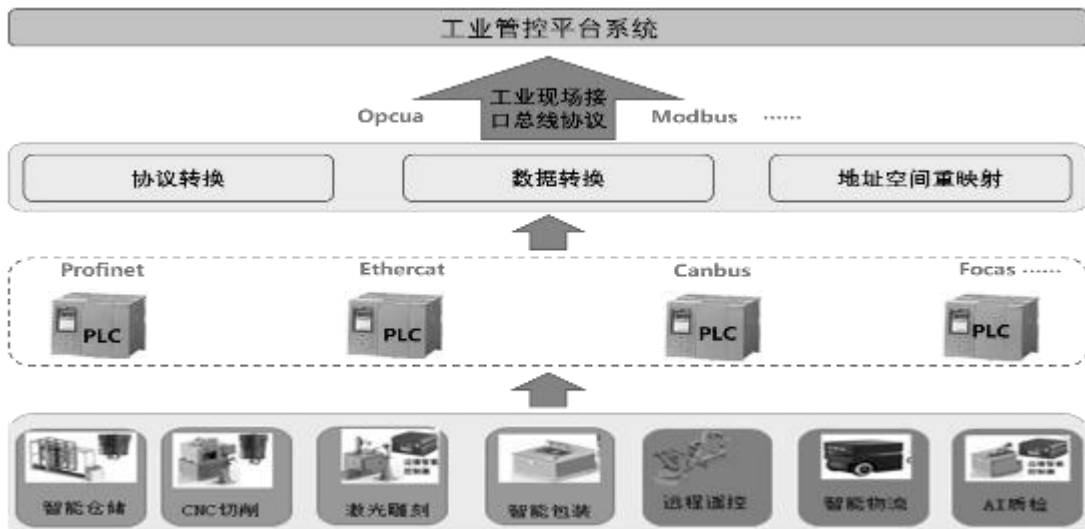
工业PON融合网关是中国电信自主研发的面向工业互联网领域推出的一款功能强大、性能卓越的工业级终端产品，集本地管理、数据采集和通信于一体。具有开放式的软硬件架构，硬件层面平台化和模块化，内置六核的处理器和较强算力的AI硬加速单元，提供丰富的物理接口；软件层面采用开放式平台架构，业务功能容器化和APP化，按照业务功能将软件划分为多个业务APP，实现快速迭代和部署，支持第三方工业应用的加载和运行，并通过容器技术，将业务软件与操作系统隔离，提升系统的安全性。工业PON融合网关开放平台的架构如下：



图：工业PON融合网关开放平台架构示意图

其中容器技术是一种内核轻量级的操作系统层虚拟化技术，主要由 Namespace和 Cgroup两大机制来保证实现。Namespace提供隔离机制，保证容器独立运行；Cgroup就负责资源管理控制作用，比如进程组使用 CPU、内存的限制，进程组的优先级控制，进程组的挂起和恢复等。工业PON融合网关，基于容器技术的开放平台，运营商和设备厂商提供完善的开发工具，实现第三方工业应用 APP 的开发以及在容器系统中的运行，具备业务功能快速开发和迭代的能力。

工业现场设备种类繁多，接口和总线协议不统一，多数工业现场设备是非标总线接口和非标总线协议。为了实现设备的互联互通，实现设备数据采集，通过协议兼容将不同的网络和通信协议统一映射成统一协议，各种网络和协议之间通过统一协议实现信息的交互。协议兼容的过程就是讲异种通信协议通过协议转换、数据转换、地址空间重映射等技术手段转换成统一协议。工业现场常用的总线协议包括 Profinet、Profibus、CClink、EthernetIP、Modbus、FOCAS等，后续可以考虑以统一协议实现承载。

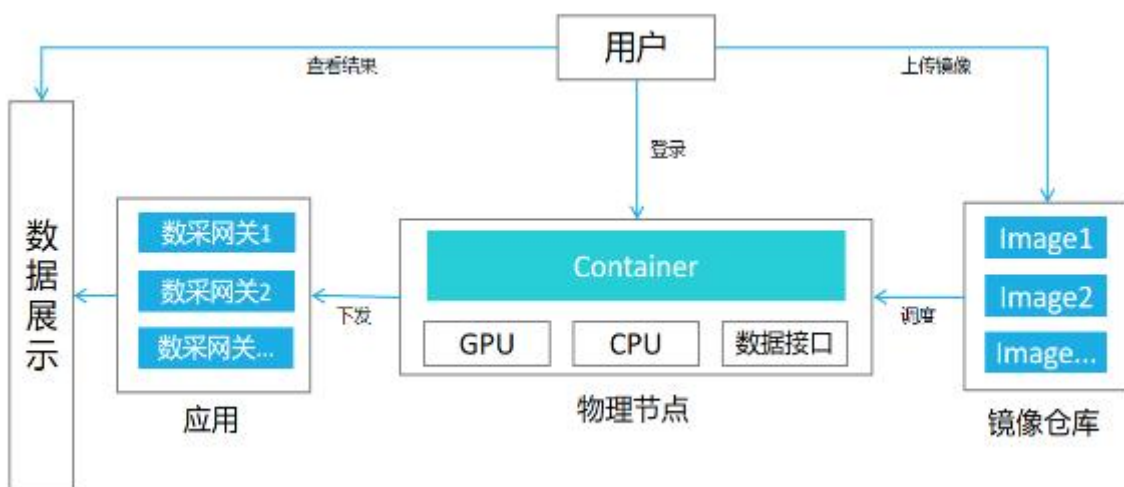


图：工业现场协议兼容性

协议兼容技术由协议转换、数据转换、地址空间重映射等技术组成，可以支持工业现场常用的总线协议，适应各种工业设备信息传送和交互以及专用控制系统应用场合的要求。

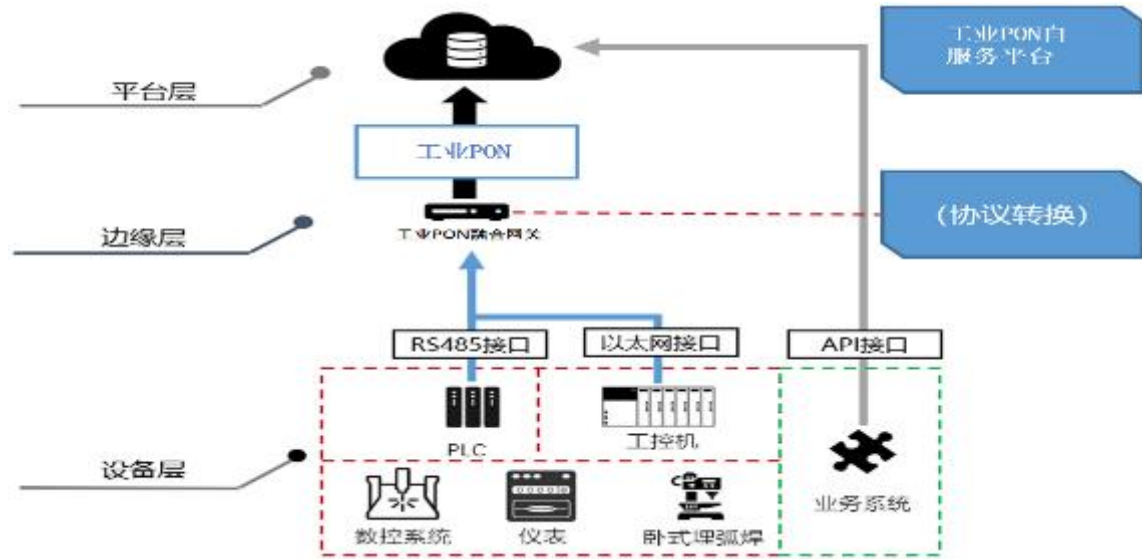
2. 工业 PON 自服务平台

工业PON自服务平台采用了基于容器方式集成多种应用，主要实现了容器管理、镜像仓库、边缘自治、服务管理、运行分析、日志管理等功能。解决企业对多个应用的运行监控、版本管控、流量配置等日常管理问题。在本测试床中该平台集成边缘网关模块实现数采协议能力。



图：基于容器应用架构

本方案通过边缘网关模块提供边缘数采及边云协同应用能力，即可可视化配置数采协议下发、远程解决工业现场边缘应用配置，具体如下：



图：数采协议配置方式

本方案边缘数采技术和现有技术相比，主要优势在于：

- 1) 更为全面地采集并存储管理感知数据, 为构造统一的基础数据环境提供支撑。
- 2) 能够保证感知数据的实时性和序列性, 即维持时态一致性, 控制数据质量。
- 3) 能够更好的通过感知数据实时完成事件触发, 满足本地事务的实时处理要求, 通过实时事务调度处理技术满足本地事务的执行。
- 4) 提供云边协同下更为高效便捷的数据同步能力。
- 5) 能够达成全生命周期管理中的切片化管理、实现连续状态信息的切片化管理, 在此基础上建立信息查询的检索机制, 支撑设备感知数据的快速查找与分析。
- 6) 容器化部署实现服务编排、灰度发布及服务动态伸缩, 提供离线自治、高可用消息通道以满足工业特定场景的需要。

3. 边缘网关模块

边缘网关模块是基于容器技术的规则引擎, 提供边缘应用执行环境、边缘应用聚合、动态安装数据采集与预处理服务, 简化设备互联, 实现云边端协同, 具

自研的工业PON自服务平台。

1)工业PON融合网关从系统、模块、软件和关键部件等合作研制系列工业PON终端，满足高可靠要求采用双路选发的工业级设备，满足边缘计算要求采用容器化架构、内置六核高性能处理器支持神经网络加载工业数采、视觉检测等应用，支持20多种工业协议的数据采集。

2)工业PON自服务平台是为行业客户提供集网络管控和辅助生产为一体的系统平台，通过基于SDN的标准化原子能力接口和无码化业务模块组装，具备工业数采、大数据分析、行业应用管理等功能，通过开放接口对接生产系统，支持秒级的高精度数据实时监控、多层算力的灵活调度，实现业务流程的敏捷开发和可视管理。

创新性主要表现在边缘数采技术上：

1)是充分利用新一代互联技术，以模型为载体完成实体工业设备微观与宏观的数字映射，实现感知数据的平滑流动，为后续各系统感知数据利用与分析提供支撑。

2)是通过工业PON融合网关的心跳轮询使得网关状态能够被云端感知，结合感知数据库的定时筛选，保证感知数据的实时性和序列型，加大云边协同具备的优势，提供更为稳定低时延的数采能力及边缘应用执行环境。

3)是通过边缘应用的形式进行数采协议的下发，使边缘硬件的选择更具有灵活性，满足大部分企业的需求。

1.6 测试床实施部署

1.6.1 测试床实施规划

【明确测试床实施的时间规划。】

序号	任务内容	任务分解	实施时间
1	设备数据采集	数据采集施工方案输出与评审	2022.7-2022.8

		采集硬件部署	2022.8-2022.9
		设备信息数据库调试及校对	2022.9-10
2	应用软件部署	边缘智能系统部署	2022.10-2022.12
		系统联调	2022.12-2023.3
3	测试验证	数据采集场景	2023.3-2023.4
		工业视觉场景（拟规划）	2023.4-2023.6

表：测试床实施规划表

1.6.2 测试床实施的技术支撑及保障措施

平台基于容器技术的规则引擎，结合工业PON网络，提供边缘应用执行环境、边缘应用聚合、动态安装数据采集与预处理服务，简化设备互联，实现云、边、端协同，具有低延时、高可靠、可扩展、本地自治的特性，为工业互联网提供更好的边缘计算服务，解决现场设备组网难及边缘服务升级的远程维护问题。通过设备模型提供的外部服务对设备进行相应的指令控制。总体功能架构具体包括边缘应用引擎、指令控制中心、任务管理中心、网关管理、监控中心、平台系统管理六个部分。

基于容器技术的规则引擎，提供边缘应用执行环境、边缘应用聚合、动态安装数据采集与预处理服务，简化设备互联，实现云边端协同，具有低延时、高可靠、可扩展、本地自治的特性，为工业互联网提供更好的边缘计算服务，解决现场设备组网难及边缘服务升级的远程维护问题。

1.6.3 测试床实施的自主可控性

- 1) 采用标准制定的 PON 系统设备，包括 OLT、ODN 等
- 2) 采用中国电信自主研发工业PON融合网关和工业PON自服务平台
- 3) 采用中国电信自主掌控的数采及视觉应用软件能力

1.7 测试床预期成果

1.7.1 测试床的预期可量化实施结果

本项目建设完成后将成为国内第一批工业 PON 网络集成的边缘网关模块管理面向防伪印刷制造业的整体工业 PON+边缘计算解决方案，建设云边端协同的创新应用模式。依托先进、系统的智能制造网络技术体系和标准体系，以应用示范促进技术成熟，带动中国印刷制造产业化。

1.7.2 测试床的商业价值、经济效益

在应用落地中钞油墨工厂后，有望通过基于工业PON的边缘智能系统应用，实现生产效率提升10%，设备利用率提升10%；网络维护成本下降15%。

1.7.3 测试床的社会价值

“基于云边端协同的工业PON边缘智能系统测试床”建设是中钞油墨践行《中国制造 2025》和千兆光网赋能行业数字化转型升级国家战略的重要举措。顺应国家产业政策的发展要求，大大降低制造企业的生产成本水平，实现了降本增效，积极推进制造业数字化转型；同时，通过项目建设形成技术新标杆，契合中钞油墨作为行业数字化转型典范的推动者和践行者的愿景期望，增强市场竞争能力，巩固中钞油墨在同行业内的技术和领导地位。

1.7.4 测试床初步推广应用案例

本测试床内容在中钞油墨实际生产制造场景作为实际应用案例进行验证，基于云边端协同的工业PON边缘智能系统测试床还可以在数采和工业视觉等类似业务场景中进行复制推广，进而形成多行业多业务特点的应用案例。

1.8 测试床成果验证

1.8.1 测试床成果验证计划

工业 PON 自服务平台提供企业客户工业 PON 网络自主管控能力，测试床完成对数据采集和工业视觉场景下的准确性、稳定性、实时性的验证。

1.8.2 测试床成果验证方案

1. 验证云边端协同的测试床性能

工业 PON 网络传输能力，包括时延、带宽、抖动、可靠性等。

2. 验证边缘数采应用能力（包括数据采集能力、边缘应用执行能力）

1) 数据采集能力验证方案：即通用设备数据采集准确性、稳定性、实时性的测试。设备数据成功上传到云端平台且准确稳定、实时，便可验证数据采集能力得以实现。

2) 边缘应用执行验证方案：即边缘应用执行环境的成功部署，边缘应用处理结果正确的测试。边缘引擎成功部署，边缘应用能正确完成输入输出，便可验证边缘应用执行成功。

1.9 与已存在 AII 测试床的关系

在2017年工业PON测试床的基础上，基于云边端协同架构，探索协议转换、边缘计算等创新应用，同时增加了工业数采和工业视觉等场景。

1.10 测试床成果交付

1.10.1 测试床成果交付件

软著 1 项，专利 1 项。

1.10.2 测试床可复制性

以中钞油墨测试床为基础，可向推广至其他印刷业，如出版业、包装业和塑料业等；以印刷制造业为基础，可向其他制造业推广，如机械、电力、钢铁、能源和石化等领域。

1.10.3 测试床开放性

测试床建成后可以在上下游企业间进行复制推广，工业PON自服务平台纳管厂商PON设备，并延伸工业数采、生产大数据分析、工业应用管理等内容，提升企业生产运营水平，帮助企业数字化转型。

1.11 其他信息

1.11.1 测试床使用者

中国电信研究院负责解决方案部署、测试床部署与验证；上海理想信息产业有限公司负责提供具体场景、参与测试床进行多场景的测试验证。中钞油墨提供测试床验证环境及业务需求。

1.11.2 测试床知识产权说明

知识产权归申请方单位所有。

1.11.3 测试床运营及访问使用

测试床将部署于工业互联网产业联盟，由中国电信股份有限公司上海研究院、上海理想信息产业有限公司、中钞油墨有限公司三方共同运营，其中电信提供技术支持。对测试床的访问使用需经过申请同意，并通过付费、知识产权共享等方式有条件使用。

1.11.4 测试床资金

测试床建设资金来源于发起方中国电信集团公司。

1.11.5 测试床时间轴

2022年7月-10月：完成测试床在实验环境下的和采集硬件部署，并调试校对设备信息的数据库。在生产环境下完成基础支撑和保障环境准备，包括完成网络环境配置和测试，使之具备测试床的部署和测试条件。

2022年10月-2023年3月：完成工业PON自服务平台的部署，并按照进行实施方案进行相关功能验证，记录验证结果并撰写测试报告。

2023年3-6月月：开始进行测试验证，主要研究工业数据采集和工业视觉两个场景，同时增加新的测试模型、探索全新环境下的测试验证过程。

2023年6月：完成测试床的成果发布。