



# 基于开源白盒的工业互联云专网 综合能力测试床

## 引言/导读

在未来网络的研究与发展进程中，开源软件起到了巨大的作用。开源软件以快速迭代、开放、灵活可定制等特性受到了广大研究人员的青睐，具有很强的前瞻性。在信息网络的研究中，开源软件涉及从单个设备的软件实现到平台级软件系统的方方面面。中国联通网络技术研究院在《CUBENet 集成验证平台研发》基础上升级完成最新版开源开放 CUBE-Platform 部署，并在 2018 年 MWCS 进行了发布。该平台是一套基于 ONF 社区 M-CORD 项目的电信边缘云能力服务系统，遵循 Apache2.0 相关协议，是国内首个基于 M-CORD 架构部署的开源平台项目，也是网研院在云计算领域首批获得著作权的软件产品，更是中国联通在网络开源研究领域软件开发的重要成果。

## 一、关键词

---

开源、白盒、行业专网、边缘云

## 二、测试床项目承接主体

---

### 2.1. 发起公司和主要联系人联系方式

中国联合网络通信有限公司网络技术研究院 刘斯奇 18601102792

### 2.2. 合作公司

北京博上网络科技有限公司

中科诺维（北京）科技有限公司

## 三、测试床项目目标

---

运营商方面，伴随云计算、SDN、NFV 等技术兴起，国内外运营商都相继提出中远期网络重构的战略目标，一方面是想借助新技术产生新的业务模式，积极应对互联网公司

OTT 服务对电信传统业务造成的强力冲击。另一方面希望依托新技术构建新的网络架构，努力摆脱多年形成的僵化网络对自身运维效率提升带来的巨大阻碍。ONF（Open Networking Foundation）开放网络基金会是 2011 年由运营商主导成立的国际开放联盟组织，通过利用 SDN、NFV 和云化技术等方式围绕网络软硬件解耦、白盒设备、开源软件和软件定义标准来构建解决方案，进而推动网络基础设施和运营商业模式转型，帮助整个生态系统大幅降低 Capex 和 Opex 成本，包括 5G 移动网络，超级宽带和其他新一代的网络技术。CORD 的核心就是用 IT/互联网运营商的技术思路/运维方法来解决电信运营商的技术、商业、管理、运维等问题。用开源软件和白盒硬件来构建技术模块，用通用的数据中心基础设施规模来降低成本。中国联通于 2016 年发起成立的“中国 CORD 产业联盟”，也是意在整合传统运营商、CORD 制造商、芯片厂商、软件服务商等各方优势资源的同时，将开源开放的理念引入到合作中。基于开源社区组织的体系架构和软件技术，依托产业联盟，加强开源开发能力的建设，实现协同创新和合作共赢，共同推动 CORD 在中国的商用部署，加快向新一代网络架构转型。

垂直行业方面，当前能源电力行业集中度高、价值大、产业渗透面广，且正在进入数字化转型爆发期，部分发电企业仍存在人工作业环境恶劣及高危险系数等工作因素。发电厂工作区域范围大、环境相对较差，传统的巡视主要是通过人工方式，综合运用感官以及一些配套的检测仪器对设备进行以简单定性判断为主的检查，该方式存在劳动强度大、检测质量分散、主观因素多、巡视不到位且难以全面监控、巡视结果数字化不便等缺陷。单纯依靠传统的传感器及摄像头监控会由于安装环境等问题导致监控范围和监控角度无法全覆盖，而要保证全方位无死角的监控，又需要安装过多的传感器、摄像头才能完成，在投入上会造成巨大的浪费，同时由于过多的传感器需要维护，造成整体解决方案性价比低。

## 四、测试床方案架构

---

### 4.1. 测试床应用场景

以能源行业火力发电厂为例，其中输煤系统是火力发电厂的重要辅助系统之一，输煤栈桥内的皮带机、滚轴筛、碎煤机、三通、犁煤器、除尘器、除铁器等主要设备，速度监测、跑偏、撕裂、拉绳等保护设备以及电缆、排水、通风、供电、照明、消防、通讯附属

设备数量多、分布点多、总里程长，给人工巡检带来了繁重的劳动强度；同时输煤栈桥存在易产生粉尘、噪声大、空气不易流通、散热较慢等环境恶劣的问题，对日常巡检提出了更高要求，也增加了人工巡检的危险性。虽然当前大部分发电厂采用以固定点安装监控视频来检测输煤系统的环境及设备情况，通过人员携带便携式仪器进行现场巡检，然而固定式的监控灵活性差，存在监控死角，人员巡检处于恶劣工作环境下，劳动强度大，外加现场为高空作业，易引发安全事故。目前多数工业园区虽通过 WiFi 进行无线接入，但 WiFi 在安全认证、抗干扰、信道利用率、QoS、业务连续性等方面无法进行保障，难以满足工业需求。

### 4.2. 测试床架构

测试床架构是平台的核心，涉及工业互联网体系架构中的网络、数据及安全等重要因素。基于开源 M-CORD 平台实现，考虑到 CORD 开源社区的平台中集成的为 eNodeB 和 UE 模拟器，因此在实际部署验证时需要替换为真实的 eNodeB 和 UE，本系统中一体化小基站即为 eNodeB，位于机器人中的 LTE CPE 为 UE。另外，CORD 开源社区中使用了白盒交换机来模拟实际网络中的 Leaf-Spine 网络，而在本项目中，均部署运行在发电厂，不需要负载的传输网络，因此，在项目中可以精简白盒交换机的数量，通过一台白盒交换机作为汇聚即可。

CORD 开源社区中使用了开源的 EPC，无论是在配置、稳定性和性能方面都存在一些不足，因此，在具体实施过程中，可以替换其中的开源 EPC 以提升整体系统的易用性、稳定性和性能。

综上，测试床架构设计如下：

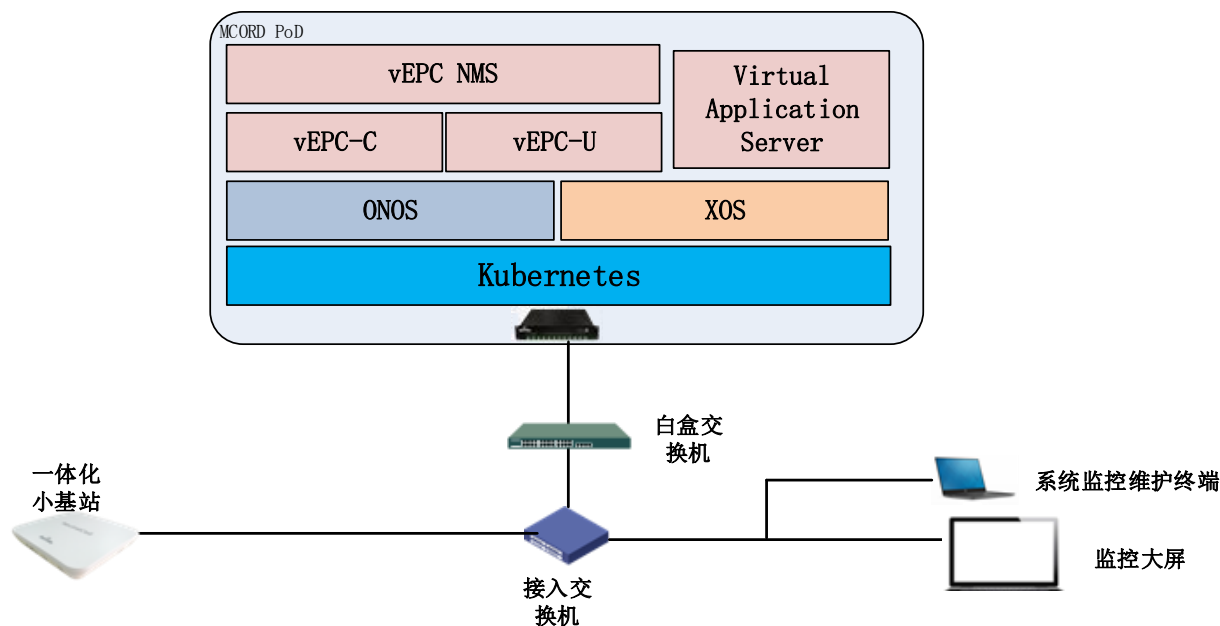


图 1 测试床架构

### 4.3. 测试床方案

经过对电厂业务的调研发现，选取晋能离石大土河电厂的五号输煤管线作为智能监控试点进行实施自动化巡检探索。即在五号输煤管线上安装一巡检机器人导轨，在巡检机器人上安装高清摄像头、红外热成像仪、高清晰拾音器、激光雷达设备，这些设备将采集高清视频图像、音频、热成像等数据，数据通过机器人中集成的 LTE 无线通信模组以及管线附近安装的 LTE 基站设备传送到电厂核心机房的 CORD 监控平台，CORD 监控平台中的监控应用服务程序对采集到的数据进行分析处理，将分析处理后的结果呈现到监控大屏上。如下图，为系统整体拓扑图。

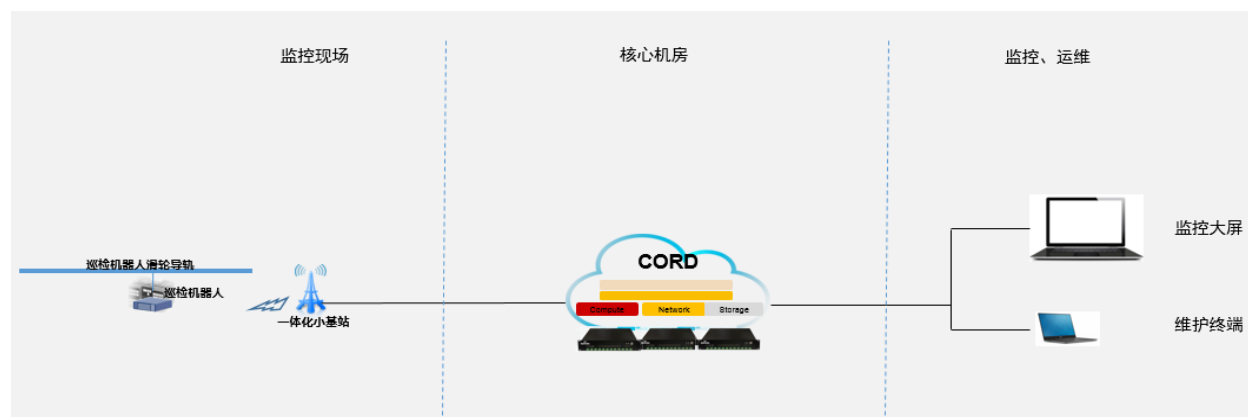


图 2 总体方案拓扑图

整体系统分为 4 大块，即智能巡检机器人、一体化小基站、巡检平台系统、监控与运维中心。

### 4.3.1 智能巡检机器人

在智能巡检机器人上安装 5 大组件：CPE 通讯模块、高清摄像头、高清拾音器、红外热成像仪、激光雷达。如下图所示：

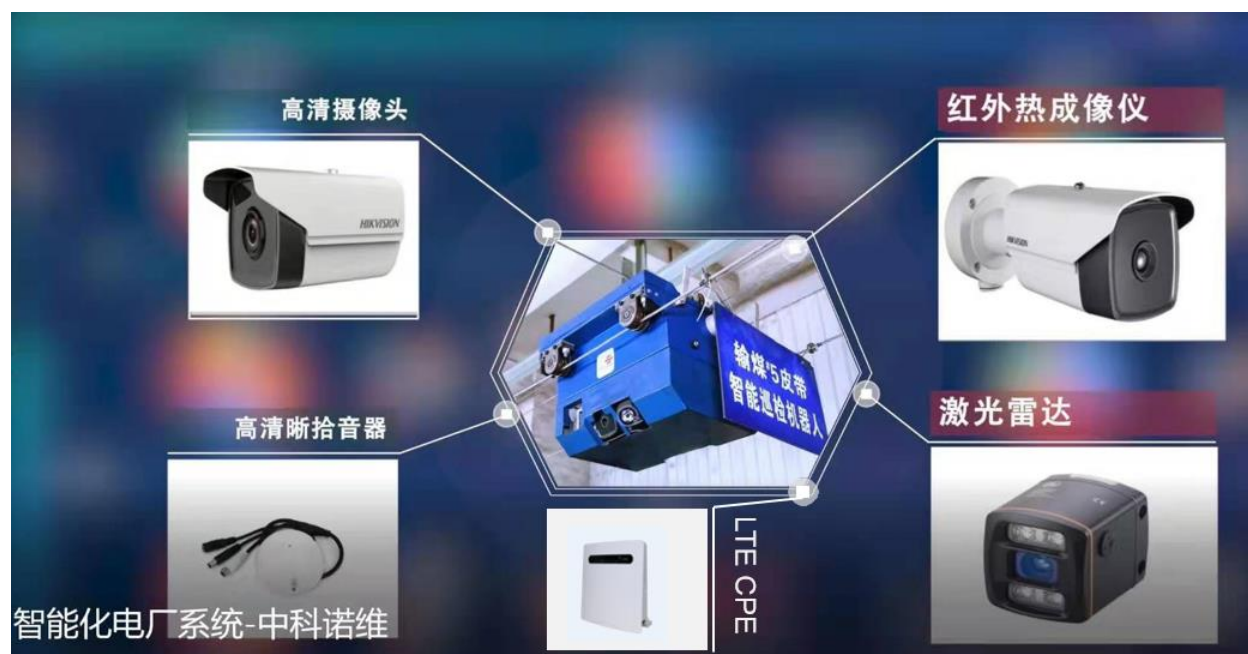


图 3 智能巡检机器人

其中 LTE CPE 作为 4G LTE 无线通讯模组，提供基础的 LTE 网络连接服务，将采集设备收集到的数据通过该模组在 LTE 无线网络上传送，LTE CPE 的工作频段应与下节中一体化小基站的工作频段相对应。

考虑到机器人的工作环境比较恶劣，如高粉尘、洒水清扫等因素，因此上述的整体部件将整体加封一个防尘、防水外壳，各组件在外壳内按照预先设计好的位置安装固定。特别说明的是，LTE CPE 需要与基站建立无线连接，而铁质外壳可能对 LTE 型号有所遮挡损耗，因此，在外壳上预留两根天线接口，将 LTE CPE 的内置天线改装为外置天线。

### 4.3.2 一体化基站

基站具有一体化、精确覆盖、灵活部署等特性，在本项目中作为无线接入点，为机器人中的 LTE CPE 提供 LTE 无线接入服务。在小基站的选择上需考虑如下因素：

1、覆盖：5号输煤管线总长约为130米，机器人将在预置路线上来回移动进行监控，小基站所发出的信号需要覆盖机器人的移动路线，确保机器人中的LTE CPE能够正常工作。

2、安装位置：实际上也与上面一条覆盖相关，若能安装的管线中央，则可节省小基站的发射功率。但还需要考虑现场实地情况，包括固定位置是否有空间、是否能够方便取电以及链接核心网的光纤/网线连接。

3、工作频段：本次项目为了验证中国联通提出的开源平台能否应用到垂直行业中，因此，首选考虑使用中国联通的无线频谱资源。此外，由于M-CORD系统与中国联通的公网之间无任何连接，因此需要考虑将本小基站的工作频段与公网的频段错开，以防对公网用户造成影响。

4、防护：同机器人的安装环境，需要能够防尘、防水。

### 4.3.3 行业专网及边缘云综合能力平台（先期实现巡检监控功能）

行业专网及边缘云综合能力平台架构参考“4.2 测试床架构”。

### 4.3.4 监控和维护中心

分为两个部分：监控大厅和维护终端。

采集到的数据通过巡检监控平台中的虚拟应用服务器处理后，得到分析后的结果，包括原始高清视频图像、热成像图像、粉尘噪音指数、不合规着装人员等预警信息，这些结果信息均反馈到监控大厅的监控大屏上。具体的监控大厅只要能够通过Http访问M-CORD巡检监控平台中的虚拟监控应用服务器即可。

维护终端用于维护整个监控系统的运行，处理一些故障和修改一些配置使用。而系统的核心监控平台所使用的服务器、交换机等设备位于中心机房，设备噪音、空调低温以及操作台受限，因此可在监控平台的交换机上预留端口，通过此端口引出到操作间的维护终端。维护终端可以对系统平台的一体化小基站、CORD服务器、接入交换机以及CORD平台中各虚拟网元设备进行配置和运行状态监控。

## 4.4. 方案重点技术

本测试床方案重点技术主要围绕开源软件、白盒硬件及提供专网服务能力来开展：

### 4.4.1 开源软件平台

CORD 项目（Central Office Re-architected as a DataCenter）是 ONF 发起并管理的 SDN 领域开源项目，是建立和构建边缘云概念的理想平台，最新发布的版本已经完全支持云原生应用 Kubernetes。CORD 除可支持对运营商的 CO(Central Office)机房进行改造为云数据中心外，也可对运营商及企业的边缘机房进行云化改造为具备边缘接入能力的基础平台，其目标是提供一个网络运营商服务交付平台的参考实现，其核心输出包括一个软件平台、系列硬件规范和服务模型等。CORD 项目整合了一系列开源项目，包括 OpenStack、Docker 和 ONOS®，并利用 DevOps 的应用开发模型为网络运营商建立一个开放、可编程且敏捷的平台。CORD 的场景主要分为家庭接入业务（R-CORD）、企业业务（E-CORD）和移动业务（M-CORD）。

目前国际上开源社区在边缘计算领域涉及的项目主要围绕 Akraino、StarlingX、vco 和 CORD 四个项目。

Akraino 是一个 Linux 基金会项目，支持针对边缘计算系统和应用程序优化的高可用性云服务。该项目成员有 ARM、AT&T、戴尔 EMC、爱立信、华为、英特尔公司、inwinSTACK、瞻博网络、诺基亚、高通、Radisys、红帽和风河等。它既包括了顶层边缘应用程序或 VNF，也包括了中间与底层基础架构框架交互的中间件和边缘 API，当然也包括了管理底层基础架构的 Edge Stack，以及相应的生存周期管理、CI/CD 和工具集。

StarlingX 项目是 OpenStack 基金会启动的另一个独立的开源项目，它使用了许多 OpenStack 服务来提供核心的计算、存储和网络功能。它基于英特尔和风河贡献的种子代码，并将自己的组件与 OpenStack、Ceph 和 OVS 等领先的开源项目结合在一起，组成一套完美的软件方案。同时，StarlingX 也是在 Akraino 的框架下，但它大多基于 OpenStack 架构而来，并且向上层提供了一系列虚拟网络化功能（Virtual Network Functions），方便上层的编排器来调用 IaaS 层的资源，而底层则是使用目前云计算平台的 Best Practice，即控制服务、计算服务（kvm）、网络服务（ovs）、存储服务（ceph）来完成。另外还会发现，StarlingX 除了拥有 OpenStack 组件外，还增加了很多中间件如 Software Management Service、Fault Management Service, Host Management Service 等，提供了更多的底层 API，比 OpenStack 支持的功能点更多。

vCO 是 OPNFV 社区的项目，该项目提供了住宅和企业的 vCPE 服务，展示了使用 OpenStack 云、OpenDaylight SDN 控制器、OpenCompute 平台(OCP)兼容硬件开发的平台及



加载的一系列提供端到端服务的 VNF。该演示表明，这一网络服务支持现场配置连接和 vCPE，具有实时远程监测和分析、故障管理和服务保证等功能。vCO 的组件与 CORD 不同，vCO 是以 OpenStack 为基础建立的，而 CORD 是建立在 OpenStack 或 Docker 容器之上。vCO 使用 OpenDaylight 控制器，CORD 使用 XOS 操作系统和 ONOS 控制器。

	Akraino(Including StarlingX/Airship)	vCO	CORD
Mission	The Akraino Edge Stack is designed to improve the state of edge cloud infrastructure for enterprise edge, OTT edge, and carrier edge networks.	The goal of the Virtual Central Office project is to produce an OpenDaylight-based reference architecture that, when combined with other functional elements (such as NFV and Orchestration software stacks) can support the delivery of Residential, Business and Mobile Services.	To build an open reference implementation of CORD, bringing datacenter economies and cloud agility to service provider networks.
Foundation	Akraino : Linux Foundation Airship : OpenStack Foundation StarlingX: OpenStack Foundation	Linux Foundation→ OPNFV	Linux Foundation → ONF → CORD (?)
Edge Mano	ONAP/Tacker	ONAP(Started from v2.0)/Tacker	XOS
SDN	ODL/Commercial/	ODL	ONOS
Open VNF	n/a	n/a	Provide Open vEPC/vOLT and etc (*)
Since from	2018	2018	2016
Latest Version	1.0	2.0	6.0
HW Preference	n/a	White Box+Open Rack	White Box+Open Rack
Sub Projects	Airship, StarlingX	n/a	R-CORD/M-CORD/E-CORD
Edge Infra	OpenStack on Kubernetes (OOK),	OpenStack	OpenStack/K8S
Source Code	<a href="https://git.starlingx.io/cgit">https://git.starlingx.io/cgit</a> StarlingX <a href="https://git.airshipit.org/cgit">https://git.airshipit.org/cgit</a> Airship	No source code yet POF demo only	<a href="https://gerrit.opencord.org/#/q/status:open">https://gerrit.opencord.org/#/q/status:open</a>

图 4 CORD 与现有国内外技术对比

基于开源软件的开放性特点，测试床也可根据行业需求对平台需要做定制开发。

#### 4.4.2 白盒硬件

白盒设备通过部署在通用硬件系统，可以轻松拓展，部署在各种工业物联网场景中。白盒设备也为测试床项目提供了极高的可复制性，为垂直行业数字化转型、智能化转型，提供了模版方案。本测试床涉及的白盒设备形态主要可分为承载核心网软件功能通用服务器设备、白盒网络设备（交换机）、白盒基站。白盒硬件和传统与之相对立的黑盒设备其主要区别就是功能开放，包含三个层面：接口开放、架构开放及能力开放。

只有开放接口才能丰富整个产业链，产业链各方也可以更加专心“各司其职”，通过竞争催化创新，推动技术进步，增加兼容及可扩展性。与此同时，接口开放也为未来更好地共建、共享网络，减少 opex/capex 提供强有力支撑。

对于架构的开放，可在未来行业或企业的应用中，通过软件功能虚拟化形式和企业网关、业务网关及云接入网关设备共设，为企业提供可本地部署的边缘计算能力。

对于能力开放，可尝试将 API 接口提供给第三方应用，从而为企业及个人用户提供更多的应用体验服务。

#### 4.4.3 专网能力

专网用于承载隔离性要求极高的行业应用，在园区内采用独立的无线设备、频率资源、承载网和核心网，与公网无线、承载网、核心网完全隔离的通道，公网业务变化完全不会影响专网数据传输质量，形成严格隔离的行业专网。

独立专网架构具有高隔离性，性能灵活定制等能力，但所有设备都需要单独建设，成本高。此外，对于语音、短信等通信需求，独立专网还需要单独建设 IMS、短信平台等，增加额外投资。

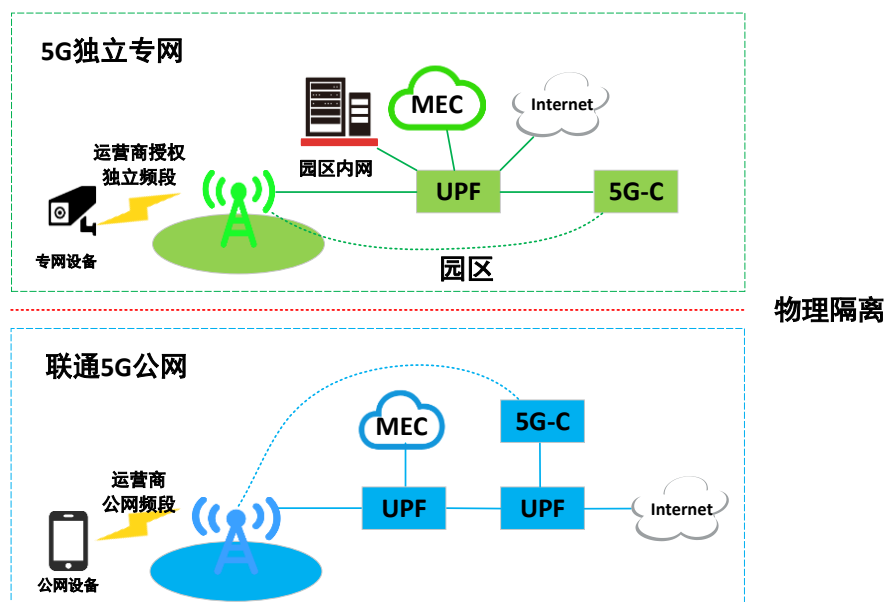


图 5 独立专网架构：独立基站、频率、承载网、核心网 U 面、C 面

为园区分配独立的频段，建设独立基站、承载网、核心网 U 面和 C 面设备。园区内的应用流量通过独立频段的空口接入独立基站，在园区本地通过 UPF 分流，直接流向园区内网的应用平台/园区私有云/IDC，或园区内承载应用平台的边缘云（MEC），相比公网流量，大大降低了传输时延，并保证园区内网流量不出园区，实现严格的数据隔离。

如果有访问互联网的需求，可通过园区内的 UPF 经安全设备（防火墙、抗 DDoS 等，没有直接画出）后接入互联网。如果没有访问互联网的需求，则不需要通过 UPF 接入互联网。

用户可以根据不同应用的需求，调整专网相应位置基站的上下行带宽配比，管理终端的接入权限，配置终端 IP 地址池等网络运营维护的操作。

任何公网的调整不会影响到专网业务。

### 4.5. 方案自主研发性、创新性及先进性

本方案以基于开源的电信边缘云平台作为面向电厂智能巡检机器人的 4/5G 承载接入方案，平台采用 ONF 社区最新的开源项目架构进行二次开发、集成智能机器人及相关基站组件，为电厂提供边缘及专网接入的联合创新型综合能力平台。

该综合能力平台通过使用开源 CORD 项目作为基础接入架构，实现软硬件解耦、设备白盒化、网络虚拟化；并可集成电厂行业应用系统，为已有行业应用系统提供运行的平台载体，同时还可以基于该平台所提供的网络能力进行新型应用系统的创新开发。

本方案利用无线机器人上搭载的激光测试仪及相关智能传感器，对皮带机、周围环境进行视频、红外、声音、气体的监测和采集，采集到的数据通过无线基站设备送至平台中集成的电厂应用分析系统，分析系统对采集到数据进行加工处理、基于 AI 人工智能的机器学习及模型训练，最后将分析处理结果发送给中心管理平台进行存储、分析和处理，给出预警及其告警信息，为能源电力行业提供了可参考的智慧化改造案例及经验。

### 4.6. 方案安全风险控制

由于厂区数据要求本地加载，不基于公网进行回传，故本方案采用端到端的专网解决方案，起到了与公网数据的良好隔离，保证了数据的安全及私密性并有效的规避了外网攻击的风险性。

## 五、测试床实施部署

---

### 5.1. 测试床实施规划

序号	阶段名称	时间	主要工作内容
1	可行性研究阶段	20XX.X-20XX.X+1	(1) 沟通交流，行业调研； (2) 深度对接，达成初步意向； (3) 与行业客户明确战略合作框架，确定价值场景范围(可签署战略合作框架协议)。
2	设计阶段	20XX.X+1-20XX.X+3	(1) 需求对接，联合创新，积极探索示范试点项目； (2) 联合供应商，完善平台设计及设备选型；在主语实验室完成设备内场测试联调及对接。
3	施工部署阶段	20XX.X+3-20XX.X+8	设备入场施工部署调测
4	运行验收阶段	20XX.X+9-20XX.X+10	根据客户需求，实现平台相关功能及运行稳定性
5	宣传推广阶段	20XX.X+11-20XX.X+12	(1) 尝试输出白皮书，引导行业水平参考架构设计； (2) 建设标准体系，扩大产业可复制空间； (3) 营造生态体系，构筑商业粘性； (4) 打造产业样板间，进一步构筑商业粘性。

## 5.2. 测试床实施的技术支撑及保障措施

主要围绕上游社区-联通-行业客户三大块合作模式开展相关工作，依托网研院资源牵头成立开放合作实验室，联合生态合作伙伴去做项目导入，来为整体方案的部署实施提供技术支撑，并和其他合作实验室和行业客户开展相关的生态建设。中国联通以成员角色参与开源社区，借助社区进一步提供技术驱动，在研究内容满足部署的情况下，通过行业客

户提供的应用场景去进行试点应用和落地，并最终为社区提供案例反馈，形成完整闭环机制。

### 5.3. 测试床实施的自主可控性

充分利用开源软件的快速迭代、开放、灵活可定制等特性，基于社区开放源代码基础进行二次编译和开发，按需求进行调整及性能优化，推动方案平台形成技术成果及相关软件注册权。

## 六、测试床预期成果

---

### 6.1. 测试床的预期可量化实施结果

输出基于行业专网及边缘云综合能力平台的“电信边缘云能力服务系统”，并取得相关软件注册权。

### 6.2. 测试床的商业价值、经济效益

结合能源行业部分中大型企业厂区存在信息化改造需求，且企业数据相对封闭，不宜接入公网环境，需引导性挖掘企业需求（企业提供对接环境场景）；联合合作伙伴（设备厂家提供未来网络终端模组、接入设备及 VNF 网元、核心网设备 VNF 网元）；结合自建边缘及专网新技术平台并提供网络接入许可及频率资源，为企业提供边缘及专网能力服务，后期让企业对接联通集团或分公司政企大客户部门，建立联通和企业客户之间新业务合作商业机制，进一步尝试探索传统电信运营商基于新技术平台为企业提供边缘及专网运营合作的新业务模式。

### 6.3. 测试床的社会价值

该测试床方案，联通作为通信运营商提供了关键的通信和服务资源、专业的网络技术团队支撑、配套的产业链整合能力及网络测试实验环境，对接能源行业的具体应用落地场景，通过开源技术带来的这种灵活性为整个通信和相关行业信息系统的融合奠定了基础，推进了新兴 ICT 技术与能源行业结合的创新应用落地，创造了可持续发展的良性生态环境，同时，也为未来 5G 专网运营积累了相关宝贵经验。

## 6.4. 测试床初步推广应用案例

山西晋能集团有限公司是成立于 1999 年 9 月，公司注册资本 6.46 亿元，总资产 51.5 亿元，主要经营业务涉及煤—电—冶金、煤-电-铝产业及国际贸易和高新技术产业。晋能离石大土河电厂是山西吕梁市实现市区集中供热的主要热源，也是山西省铝循环产业园区局域电网运营试点方案批复的主要电源点，厂内具有超临界机组、燃用低热值煤、使用城市中水、热电联产、区域电网主要电源、节能减排等特点。电厂的建设，不仅能够破解吕梁城区集中供热热源不足的历史难题，同时对于推进吕梁煤、电、网、铝协同发展，吕梁产业结构转型升级、提高能源综合利用效率、加快循环经济发展、淘汰落后产能、促进大区污染防治、解决当地群众就业等意义重大。

晋能离石大土河电厂作为火力发电厂（场景需求参考“4.1 测试床应用场景”），存在相关信息化改造需求，为此，中国联通网络技术研究院基于开源 CORD 平台，集成智能机器人及相关基站组件，研发了电厂智能巡检解决方案，支持 4G/5G 无线接入，不但实现了巡检机器人高带宽、高稳定的无线连接，满足激光测试仪及相关智能传感器的数据实时回传要求以及电厂环境中的高防尘要求，还利用部署在平台中的电厂应用分析系统和边缘人工智能技术，对相关的数据进行智能处理和分析，实现了电厂管理的智能化和可视化，为能源电力行业的智能化转型提供了可参考的范例及经验。

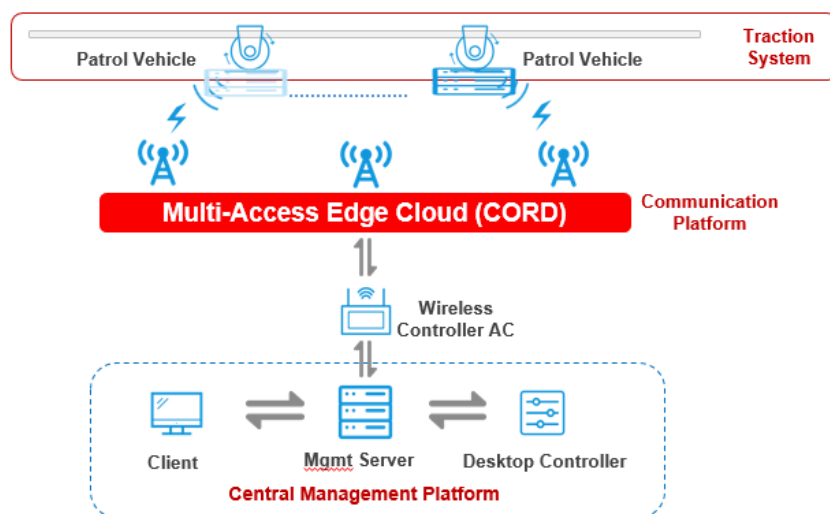


图 6 测试床应用案例系统图

## 七、测试床成果验证

### 7.1. 测试床成果验证计划

测试床成果验证计划主要包括无线性能和端到端业务验证两方面。

### 7.2. 测试床成果验证方案

#### 7.2.1 无线性能

主要测试无线通信的性能指标，主要包括无线覆盖、E2E 时延。验证工作如下：

测试项目：无线网络性能测试
测试目的：验证监控机器人运行路线上信号覆盖强度、E2E 时延
预置条件： <ul style="list-style-type: none"><li>a) 一体化基站上电，连接核心网，小区激活。</li><li>b) M-CORD的vEPC中为测试USIM卡开卡，确保该卡终端能够接入。</li><li>c) 测试终端上安装无线信号测试工具Celluar-Z和Ping工具</li></ul>
测试步骤： <ul style="list-style-type: none"><li>1) 找一个Android测试手机，插入新开户的USIM卡。</li><li>2) 测试手机预先下载并安装好Celluar-Z工具和PING工具</li><li>3) 测试手机沿着机器人轨道的行经录像移动，通过Celluar-Z工具观察RSRP</li><li>4) 测试手机ping监控服务器，观察E2E ping 时延</li></ul>
预期结果： <ul style="list-style-type: none"><li>a) 测试手机成功接入网络。</li><li>b) 当测试手机沿着机器人轨道路线移动时，RSRP在-110内。</li><li>c) 当测试手机沿着机器人轨道路线移动时，ping监控服务器时延小于100ms。</li></ul>
测试结果：
结论：

#### 7.2.2 E2E 业务验证

主要测试整个智能巡检系统是否能够正常工作，满足日常的智能巡检需求。验证工作如下：

测试项目：E2E 业务验证
测试目的：验证能巡检系统是否能够满足日常的智能巡检需求
预置条件： a) 智能机器人系统启动，使之沿着轨道正常工作。 b) 观察监控大屏，监控结果能否正常显示。
测试步骤： 1) 启动智能机器人。 2) 观察监控大屏，查看高清视频图像是否有延迟，热成像图像生成是否正确、合理。
预期结果： a) 前端机器人采集回来的高清视频图像顺畅、无卡顿。 b) 热成像图像生成正确、合理。 c) 当未佩戴安全帽人员进入监控区域时有告警产生
测试结果：
结论：

## 八、与已存在 AII 测试床的关系

---

无

## 九、测试床成果交付

---

### 9.1. 测试床成果交付件

序号	名称	类别
1	基于开源白盒的工业互联云专网综合能力测试床	系统平台



2	电信边缘云能力服务系统 V1.0	计算机软件注册权登记证书
3	基于开源白盒的工业互联云专网综合能力测试床—设计方案及部署说明	技术方案，成果性输出文档

### 9.2. 测试床可复制性

该测试床可为电厂信息化改造提供有力支撑，可将该解决方案打造成能源行业智能化改造的样板，为行业内相关场景的适配提供参考依据，适用于中大型企业园区有边缘接入、专网服务及安全生产代替高危人工作业的移动巡检类场景。

### 9.3. 测试床开放性

该测试床基于开源项目构建，本身具备良好的开放及兼容能力，可以与企业的软件系统进行平滑对接。由于测试床部署在开放通用硬件平台上，可以拓展到相关场景开放环境中。

## 十、其他信息

---

### 10.1. 测试床使用者

【明确非发起方的公司可以使用测试床程度，以及相关的要求和限制条件。】

### 10.2. 测试床知识产权说明

【请清晰说明谁对测试床的建设、运营以及使用拥有产权。】

中国联通

### 10.3. 测试床运营及访问使用

建设初期通过专网解决方案模式推进，联通牵头相关设备厂家负责整体系统集成及平台的部署、及运营。建设后期行业客户可基于平台进行业务访问及简单的操作及维护，相关技术难点及故障维护可通过维保服务由联通地方分公司进行跟进支撑及解决。

### 10.4. 测试床资金

序号	预算科目名称	合计（万元）	备注
	(1)	(2)	(3)
1	一、成本费用支出	125.7	
2	1、差旅费	5.7	
3	2、办公费	0	
4	(1) 耗材配件	0	
5	(2) 技术资料费	0	
6	(3) 文印费	0	
7	3、低值易耗品	0	
8	4、通信费	0	
9	5、车辆租赁费	0	
10	6、技术服务费	120	
11	7、设备租赁费	0	
12	二、资本化支出	61	
	合计	186.7	

### 10.5. 测试床时间轴

序号	措施	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
		1	沟通交流，行业调研	■									
2	深度对接，达成初步意向	■											
3	确定价值场景范围		■	■									
4	需求对接，联合创新，积极探索示范试点项目			■	■	■	■	■	■				

