

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200257

电力装备制造业工业互联网标识解析体系应用发展研究

李晋航, 高铭泽, 吴文亮, 陈兵, 石致远

(中国东方电气集团有限公司中央研究院, 四川 成都 610000)

摘要: 近年来我国工业互联网技术与制造业不断地深度融合, 工业互联网标识解析体系的建设与应用成为了研究的热点。电力装备制造业作为关系国民经济发展的重要领域, 工业互联网标识解析体系建设和行业化应用具有重要的研究意义。首先对比国内外主流标识解析体系, 分析了中国工业互联网标识解析体系架构设计思路。然后结合中国电力装备制造工业标识的特点, 研究了基于 Handle 体系的行业二级节点建设思路, 提出一套适用于电力装备制造业的 Handle 标识解析体系与技术实现方法。最后阐释该体系给企业带来的应用价值以及未来面临的挑战与机遇。

关键词: 工业互联网; 电力装备制造业; 标识解析体系; 标识技术; Handle 体系

Research on application and development of an identity resolution system of the industrial internet in the power equipment manufacturing industry

LI Jinhang, GAO Mingze, WU Wenliang, CHEN Bing, SHI Zhiyuan

(The Research and Development Center, Dongfang Electric Corporation, Chengdu 610000, China)

Abstract: In recent years, industrial internet technology and manufacturing industry have continued to be deeply integrated in China, and the construction and application of the industrial internet identity resolution system has become a research hotspot. As a field related to the development of the national economy, this has important research significance. First, this paper compares the domestic and international mainstream identity resolution systems, and analyzes the design ideas of the industrial internet identity resolution system in China. Then, combined with the characteristics of the power equipment manufacturing industry identification in China, it explores an industry secondary node construction idea based on the Handle system, and proposes a set of Handle identity resolution system and technology implementation method suitable for the power equipment manufacturing industry. Finally, it explains the application value that the system brings to enterprises and the challenges and opportunities it will face in the future.

This work is supported by 2016 Intelligent Manufacturing New Mode Application Project of Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (No. 2016ZXFM07006), National Natural Science Foundation of China (No. 51805330), and Science and Technology Project of Sichuan Province (No. 2017GZ063).

Key words: industrial internet; power equipment manufacturing industry; identity resolution system; identification technology; Handle system

0 引言

随着互联网技术、计算机技术和通信技术不断取得新的突破, 为深入交融的电力行业发展赋予了

强大动能^[1], 促使电力领域各环节之间的连接更广、联系更深、联络更快^[2]。工业互联网作为网络信息技术与工业技术的融合产物, 是工业体系中各元素互联互通的关键基础设施^[3-4]。由于异构异源设备的大量接入、海量多模态数据的高速率传输, 形成的大数据流给传统电力装备制造业的有序生产、规范管理和质量追溯带来了巨大的挑战。此时, 需要借助工业互联网标识解析体系进行规范化管理。

基金项目: 国家工信部 2016 智能制造新模式应用项目资助 (2016ZXFM07006); 国家自然科学基金项目资助 (51805330); 四川省科技计划项目资助 (2017GZ063)

工业互联网标识解析体系对每个对象进行标识、解析与管理,保证工业全要素、各环节的信息互联,实现跨地区、跨行业、跨企业的信息共享^[5]。这不仅是一种重要的技术手段,同时具有巨大的经济价值,关系到各国核心利益。国务院和工业和信息化部自2017年11月起陆续发布了《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》和《工业互联网发展行动计划(2018—2020年)》^[6-7],对我国工业互联网标识解析体系的建设提出明确要求。

国内外科研机构和学者对标识解析体系技术及应用展开研究,并提出研究思路和建设构想。文献[8]针对面向物联网的域名解析系统能否支持命名解析服务的问题进行分析,最终指出IPv6凭借其扩展的地址空间可支持物联网设备的寻址,但是如何提供可扩展、可靠且有效的名称服务仍然是一个挑战。文献[9]基于永久标识对象的层次化结构命名方案提出一种映射架构,该架构可实现Handle等永久标识符在数据命名网络(NDN)中的传输,并通过仿真模拟验证所提架构可有效提高数据的传输效率。文献[10]提出一种面向NDN的Handle解析架构,并通过实验验证了经过调整优化的Handle解析架构可完成NDN数据分组与Handle请求的转换。文献[11]等在国家相关文件指引下,对工业互联网标识相关技术进行介绍与研究,提出基于工业互联网标识信息读取和信息主动上传的两种典型应用场景。文献[12]针对企业“信息孤岛”的现象进行分析,指出标识解析技术是解决此类问题的关键技术,提出一种基于标识解析技术、面向信息融合理解的标准化研究思路。文献[13]指出我国工业互联网标识解析体系存在安全管理体系不健全、技术保障手段缺失、解析节点接入与可信认证等问题,提出从安全管理体系、安全评估体系和安全防护技术体系入手来加强标识解析体系安全保障能力的建设。文献[14]对标识解析技术在工业领域所面临的异构标识解析体系兼容、高性能解析服务、去中心化对等问题进行分析与讨论,提出一种DEIS架构的去中心化高效标识解析系统方案。

标识解析体系是在社会经济领域内对物理世界中的“物”进行身份认定和被跟踪识别的标准规则,是万物互联的基础。电力装备制造业是国民经济发展的基石,将工业互联网标识解析系统关联到电力装备制造业并进行科学的规划建设具有重要的现实意义。

1 国内外标识解析体系介绍

目前,国内外存在多种标识解析体系,根据解

析寻址方法的不同可分为三类^[15],分别是基于经典解析寻址技术的标识解析体系、基于改进型解析寻址技术的标识解析体系和基于变革型解析寻址技术的标识解析体系。

1.1 经典解析寻址的标识解析体系

经典解析寻址技术类似于传统互联网中DNS解析方法^[16],通过DNS解析器,对编码映射到物理地址,进而实现编码解析。传统DNS解析方法的应用领域主要面向主机访问的消费型互联网,无法直接适用于工业互联网中多源异构设备的接入和访问。由于DNS系统在查询请求或查询响应时,数据通过UDP协议传送,极易遭到监听和篡改,原有的管理及安全机制对于工业领域来说具有极大的安全风险^[17]。因此,出现了两种适用于工业互联网的基于改进型方法的标识解析体系和基于变革型方法的标识解析体系,下面就这两种方法进行介绍。

1.2 基于改进型解析方法的标识解析体系

面向工业互联网常用的改进型标识解析体系是ISO/IEC和ITU-T联合制订的OID标识解析体系^[18],在DNS解析体系上进行了功能改进,扩展了识别对象的范围。OID标识解析体系最初的设计目的是对物联网环境中的各类对象和服务进行统一命名并作唯一标识^[19]。采用分层树状型结构,常用点标记法对识别对象进行标识,不同层级之间用“.”作间隔,可用作对象标识到达解析节点的有效路径。OID标识解析系统由应用客户端、ORS客户端(ORS,OID resolution system,OID解析系统)、DNS客户端和DNS服务器四个部分组成^[20],其中ORS是物理对象的标识利用DNS系统进行解析的关键环节。改进型标识解析体系与经典DNS相比,识别对象的范围明显扩大,不仅局限于网络互联,更能够识别一切有标识的实体,实现万物互联。

1.3 基于变革型解析方法的标识解析体系

上述改进型标识解析体系,受制于DNS单根服务器,系统中各节点不具备完全的自主性,其数据信息的安全性和永存性面临着极大的威胁^[21]。为解决这种问题,人们提出不依赖于DNS而自主运行,拥有独立解析体系的变革型标识解析体系^[22]。目前,国际上最通用的是DONA基金会管理运营的Handle标识解析体系^[23]。

Handle体系编码结构形式上为前缀/后缀。前缀作为权威域,可下辖多个子权威域,按等级高低依次自左向右用“.”间隔;后缀作为相应权威域下的本地命名空间,可由企业自主命名标识^[24]。Handle体系为扁平型分层服务模式,由全局Handle注册表(Global Handle Registry, GHR)和本地Handle服务

(Local Handle Service, LHS)两部分构成。Handle 系统分层服务架构模式如图 1 所示。

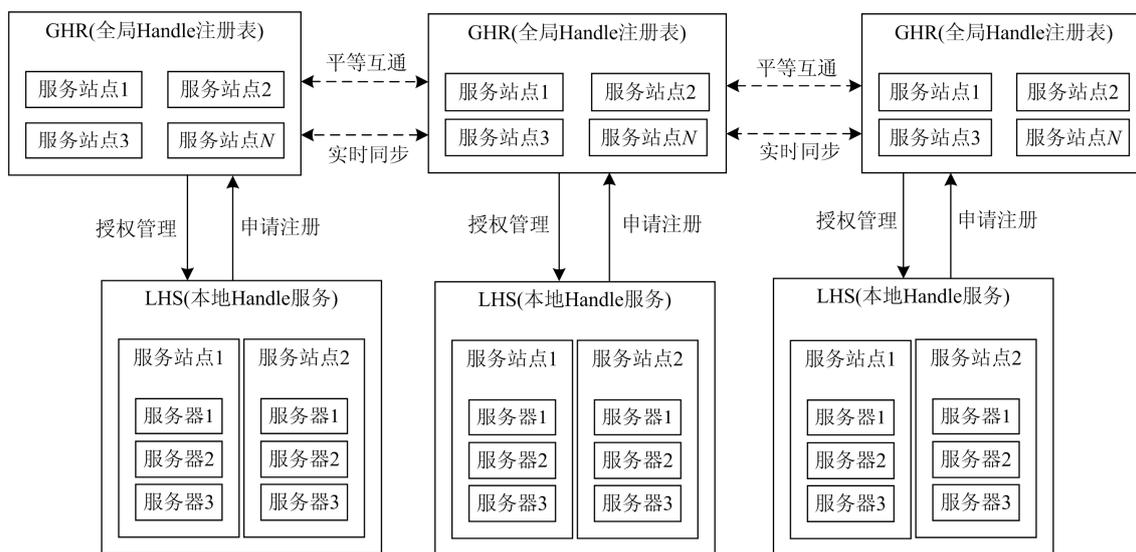


图 1 Handle 系统分层服务架构模式

Fig. 1 Handle system layered service architecture pattern

其中, GHR 负责全局管理, 分配前缀并授权命名空间。LHS 负责本地管理, 向 GHR 申请注册前缀, 在授权的命名空间内定义本地编码规则。上层 GHR 之间平等互通, 可以实时同步数据信息; 下层 LHS 由一个或多个服务站点组成, 每个服务站点内包含一个或多个服务器, 提供可查询的数据信息。

此外, Handle 系统的安全机制不依赖 DNS 系统^[25], 其包括管理员与权限设计、客户端身份安全与操作合法验证、服务器身份安全验证等内容, 安全性得到了保障, 防止系统数据泄露和篡改等危险情况的发生。目前, Handle 标识解析体系也在国际范围被广泛认可和推广。

1.4 我国工业互联网标识解析体系分析

近年来我国工业互联网发展迅猛, 各企业积极引进标识解析系统和定制化管理平台, 在个别行业或企业内部实现了产品可追溯、可管控, 短期内提质增效。鉴于国内多种标识解析体系共存的实际情况, 工信部指导下中国信息通信研究院牵头提出了工业互联网标识解析体系架构^[26]。

中国工业互联网标识解析体系由国际根节点、国家顶级节点、二级节点和企业节点四个层级构成, 另有作为查询和访问入口的公共递归节点^[27]。中国在上海、北京、广州、武汉和重庆部署了 5 个国家顶级节点, 顶级节点下辖若干二级节点, 二级节点下辖若干企业节点, 工业互联网标识解析体系层级架构如图 2 所示。

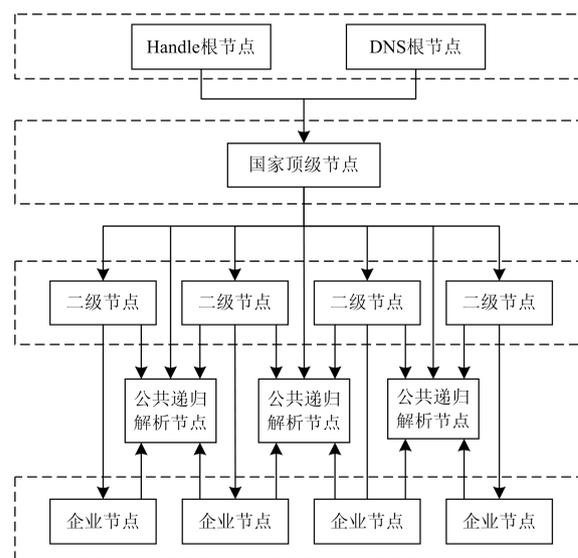


图 2 工业互联网标识解析体系层级

Fig. 2 Hierarchy of industrial internet identity resolution system

中国工业互联网标识解析体系层级架构考虑到国内多种编码方式共存和与国际体系兼容的实际情况, 实现了 DNS 系统和 Handle 系统双通道解析方案, 为工业数据信息的内部共享和对外互通创造了基础条件。自上而下的多层次服务模式、每个层级平行部署多个节点, 有效避免权威滥用的风险, 为数据高效处理和安全应用提供了根本保障。

综上所述, Handle 系统作为一种国际通用标识解析体系, 在各国各领域有着广泛深久的应用, 其独有的标识方案和解析机制兼具通用性和安全性。

国家工信部也在大力倡导选用 Handle 系统作为工业互联网的底层共性支撑技术^[28]。本文以 Handle 系统作为基础体系对我国电力装备制造业的工业互联网标识建设进行初步探讨。

2 电力装备制造业工业互联网标识解析体系建设思路探讨

Handle 标识解析体系在诸多行业领域已有成熟应用,对于电力装备制造而言,目前尚无应用工业互联网标识解析体系的成熟案例。实际上更多企业基于自身产品的特点,为实现规范化管理,自定义一套标识解析规则。企业内各产线、各车间以及集团各子企业之间会出现产品标识不同、解析产生壁垒、无法共享信息的问题,同一个产品甚至还会出现“一物多码”的现象。大量非标准化标识的存在,使得企业内部封闭严重,“缺、误、少、冗”等情况严重阻碍我国电力装备高质量发展。

2.1 电力装备制造业工业标识现状

电力装备制造是典型的离散型制造:面向订单需求进行定制化研制,主机零部件构成上万种,工艺复杂多变,一套大型电力设备原材料品类复杂且数量繁多,供应网络庞大而复杂,导致原材料有序标识十分困难,实际中大量标识编码靠人工约定,存在数据不唯一且标识规范不统一的现象。另外,实际生产过程中,零部件价值高,不能交互替用,一旦在流转过程中出现标识信息错误、重复、泄露或被伪造篡改等问题,将会被判定为不合格项,带来极大损失,因此对标识防伪和解析安全要求极高。此外,对于设备在电站的运维同样以工业标识作为基础,只有装备制造企业与电站企业标识系统兼容,才能有效实现信息交互,降低后期的维护成本。

目前标识唯一性、统一性、安全性等问题制约着我国电力装备制造行业制造水平的提升,也制约着工业互联网在电力装备的应用与落地。

2.2 一种适用电力装备制造业的 Handle 标识解析体系方案

基于行业特点和我国工业互联网标识解析体系架构考虑,应用部署在中国大陆境内的 Handle 国际根节点,能够提供中国国家根节点“86.”前缀,为国家顶级节点提供解析服务,也可直接参与行业内二级标识解析节点的建设。电力装备制造业内的集团型龙头企业具有行业典型性,深刻了解行业需求痛点,具有丰富的管理经验和很强的生产制造能力。集团型龙头企业应主动承担国家工业互联网的建设任务,直接向 Handle 根节点申请注册前缀标识,建

成行业二级标识解析节点,为下辖的子企业及上下游企业的企业级节点提供标识前缀分配、标识解析和安全管理等服务。工业互联网 Handle 标识解析体系架构如图 3 所示。

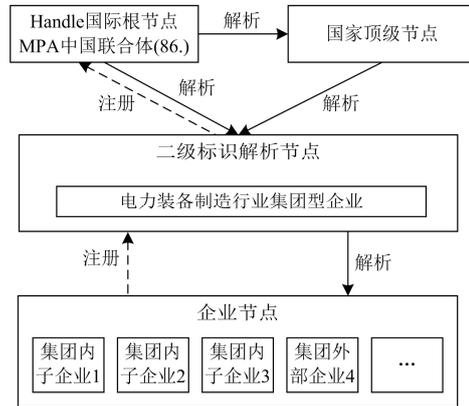


图 3 Handle 标识解析体系架构

Fig. 3 Handle identity resolution system architecture

该 Handle 标识解析体系架构可为电力装备制造业的标识解析体系提供底层技术支撑,也可保证和国际 Handle 体系架构互联互通。在此基础上,研究电力装备制造行业集团型企业二级节点建设和管理服务平台的搭建,提出一套解决方案。

不同于汽车制造等行业流水式作业模式,一套完整电力装备的生产作业需调动多企业、多部门、多资源的协同配合。在电力装备制造行业集团型企业二级节点建设的构想中,要充分考虑各子企业及外部企业级节点之间存在保护商业秘密、工业数据安全等严肃问题,采用具有分布式管理特点的 Handle 体系拥有原生认证机制,数据无需集中上传,可本地存储,有效保障信息安全。

在各企业信息数据完全自主可控的前提下,将包括子企业、零部件供应商、电站运营商、电网公司以及物流服务公司等在内的电力装备产业链上下游企业的内部信息标识解析系统,安全接入到集团型龙头企业建设的二级标识节点。企业级节点彼此之间独立运营,可选择性地上传和公开信息,通过中间件兼容集成到具备数据资源、存储资源、计算资源、通信资源、网络资源和云基础服务的基础设施层。Handle 标识解析系统从基础设施层获取申请注册前缀的请求,严格按照相关技术标准和管理要求,提供格式规范的唯一前缀结合产品唯一后缀编码,确保注册后的工业标识在全球范围内具有规范性和唯一性。同时可响应标识解析、权限认证、数据管理、信息关联等功能请求,确保标识信息可实现唯一性定位与合法性操作。基于 Handle 标识解析

层提供的技术支撑, 集团型企业可在工业互联网上搭建标识解析管理服务平台, 利用 XML 格式的接口传输结构化数据, 该平台除了能够与外部存在的智慧能源服务系统、多目标能源管理系统信息互通

外^[29-30], 还要具备全生命周期管理、供应链管理、产品追溯、远程运维和查询统计等功能。电力装备制造 Handle 标识解析方案如图 4 所示。

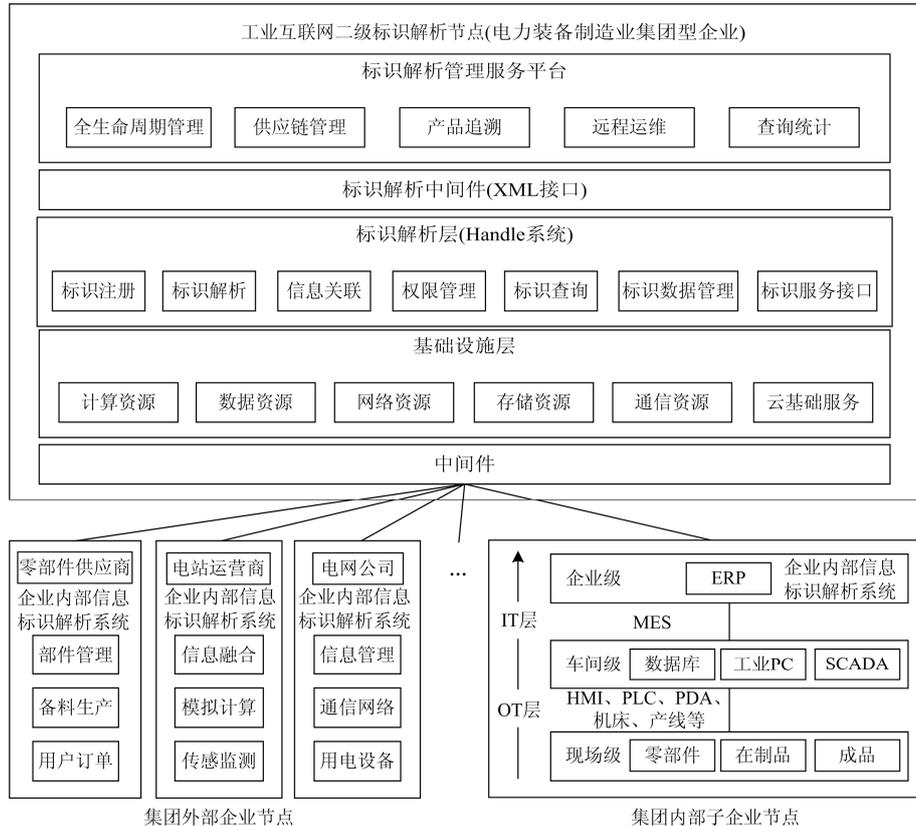


图 4 电力装备制造 Handle 标识解析方案框图

Fig. 4 Block diagram of Handle identity resolution in power equipment manufacturing industry

以集团型龙头企业基于 Handle 体系所建的二级标识解析节点作为电力装备制造工业互联网的核心枢纽, 使整条产业链中各企业级节点全部挂靠在该二级节点下。通过这种思路, 可以打通从零部件供应商到电网公司上下游企业的信息壁垒, 实现了跨地区、跨企业的信息定位与信息共享。

3 标识解析体系关键技术研究

面向电力装备制造业的标识解析体系, 需要多项关键技术作为支撑。下面就编码标识、解析机制和安全管理三个方面进行分析与应用研究。

3.1 编码标识

电力装备制造中最常用的编码标识技术是条码识别技术和 RFID 识别技术^[31-33]。条码识别利用纸质粘贴或激光标刻条码的方式附着于材料表面, 因使用成本低、采集信息准确率高等特点, 故在电力装备制造领域广泛应用。然而, 工业制造环境复杂

恶劣, 条码表面容易受到污损, 此时信息读取的成功率和准确率就会大打折扣。某些高温作业条件也会使贴附于物品上的条码纸变形甚至脱落, 导致条码信息无法采集; 此外条码标识存储的信息固定, 无法记录生产过程中的实时数据。与传统的条码技术相比, RFID 技术在存储信息量、读写方式和识别速度等方面都有很大的优势。目前 RFID 技术已普遍出现在电力装备制造现场, 不过因其电子标签成本过高导致无法推广应用规模。标识技术在电力装备制造行业中典型应用场景体现在零部件、工具和物料转运的信息记录方面。

(1) 零部件追踪记录

电力装备制造过程涉及的零部件多为金属材料, 表面光滑有油污, 边缘锋利。在堆叠存放时极易出现划伤、磨损、碰撞等情况, 加工过程中需要经历热处理、探伤检测等工序, 若使用纸质条码或 RFID 电子标签极易出现脱离或破损, 导致数据信

息无法采集。此时可使用激光雕刻工艺进行标识，激光标刻的金属条码标识对于恶劣环境具备一定的抗干扰性，不会出现脱落现象，且具有一定的纠错能力，对于轻微破损并不影响读取效果，如图 5 所示。但对于喷丸和喷漆等表面处理，却有致命的影响，不过可以通过再次转刻的方式恢复标识功能。

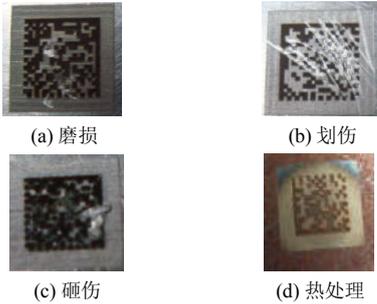


图 5 标识受损情况

Fig. 5 Identity damage

(2) 刀具追踪记录

日常维修保养时，需要对机床的刀具进行定期维护和更换，因此要对刀具的使用情况进行跟踪管理。刀具属于硬质合金材料，其表面硬度高且极其光滑，导致打标机标刻难度增大且反光严重，图像传感器很难对焦，所以在利用视觉读取的二维码技术上并不适用。可对部分刀具的标刻方式进行改良，采用一维码刻录或粘贴纸质标签，则能够实现对刀具数据信息的读取。刀具刻录标识情况如图 6 所示。



图 6 刀具刻录标识

Fig. 6 Cutter identification

(3) 物料转运记录

在加工制造过程中，车间内部会出现缺料补料、托盘调调和成品搬运等物料转运的情况。对于逻辑清晰、简单重复的工作，在数字化水平较高的车间内通常不需要人过多参与，由 MES 系统调度，自动物流系统执行即可完成。在缺料补料、成品搬运的过程中，为实现实时数据更新和快速识别功能，可在托盘、库位以及工位处设置 RFID 电子标签和读写器，对物料转运信息进行实时跟踪和快速记录。

3.2 解析机制

工业互联网标识解析机制类似于互联网 DNS 解析体系，是通过将编码标识的逐级解析定位到存储对象标识信息内容的具体服务器，进而查询产品属性、网络地址等信息的过程。目前依据解析架构

的不同，常用的解析方式可分为树状型递归查询和扁平型迭代查询两种方法。递归查询对于客户端而言，为获取所需信息仅发送和接收一次讯息即可，具体查询过程由外部服务器进行，极大节省客户端的流量资源，但递归式查询在对开放的服务器进行访问时却易受到放大攻击和缓冲投毒的威胁。迭代查询需要客户端对不同域服务器进行访问，直至得到最终所需信息，访问次数过多会导致客户端流量资源占用严重，但客户端与目标服务器直接通信，则可保障数据信息的安全传输。

面向电力装备制造业的 Handle 系统可采用迭代查询的解析方式，整个解析系统由全局 Handle 注册表(Global Handle Registry, GHR)、本地 Handle 服务(Local Handle Service, LHS)和 Handle 客户端三部分组成。文中 GHR 对应的是 Handle 国际根节点 MPA 中国联合体(86.)，LHS 对应的是电力装备制造业二级标识解析节点。Handle 客户端作为整个系统解析请求的发起点，先向 GHR 发送标识前缀解析请求；GHR 响应请求后，通过查询注册节点信息，返回前缀对应的 LHS 服务站点信息至客户端，同时 Handle 客户端可缓存返回的 LHS 服务站点信息，后续查询可不再询问 GHR，直接将 Handle 标识发送至 LHS 服务站点。客户端得到指定 LHS 服务站点信息后，将 Handle 标识发送至指定 LHS 服务站点进行标识解析，得到的解析结果最终直接返回至 Handle 客户端。客户端 Handle 解析系统架构与流程如图 7 所示。

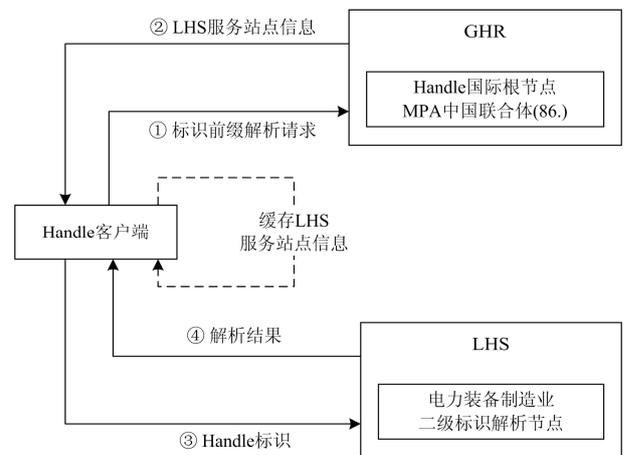


图 7 Handle 系统解析架构

Fig. 7 Handle system resolution architecture

采用递归查询解析方式的典型应用是 OID 标识系统，其线上解析机制需要通过 ORS(ORS, OID resolution system, OID 解析系统)将 OID 编码转换为规范域名后，才可以应用 DNS 解析服务。该系统的

根解析机构由韩国维护, 实现 OID 根目录、OID 弧解析等解析服务功能^[20]。目前在物流、食品追溯、生物识别、网络管理和医疗影像等领域开展了示范应用, 若在工业互联网领域深入应用, 还需做好全局统筹规划并加强信息安全的技术支撑。

3.3 安全管理

未来工业互联网标识注册数量可达数以十亿计, 并发解析请求瞬时可达数十万量级, 既要高效解析, 又要保护企业机密隐私、防护网络恶意攻击, 这对数据信息的安全管理提出非常高的要求。Handle 体系采用分级、分布式注册表和灵活分布式的资源池管理, 可实现巨大信息量的分流, 有效提高解析效率; 同时, 其基于身份认证、数字签名、公匙系统和质询响应协议的原生认证机制, 确保了信息传输的安全性和管理操作的合法性。电力装备制造业选用 Handle 体系, 利用其独有的安全管理机制能够有效避免越权操作、服务器被篡改、标识伪造、数据泄露等危险情况的发生, 保障企业规范管理和稳定运营。此外, 在加强网络安全、数据安全技术保障能力的同时, 还需在治理体系和运营机制上制定科学规范的安全管理模式, 加强政府监管。原生认证机制流程如图 8 所示。

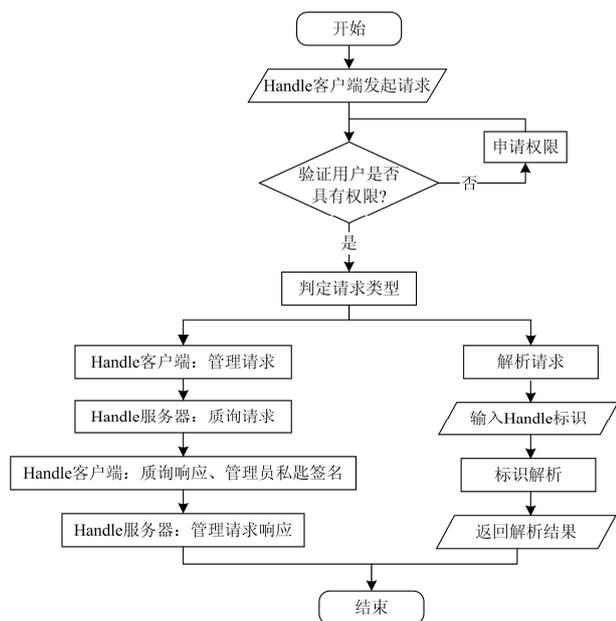


图 8 认证机制流程图

Fig. 8 Flowchart of authentication mechanism

4 Handle 标识技术体系的企业应用价值

在 Handle 标识解析体系架构下, 各企业可优先升级自身信息化水平, 确保各环节生产信息可采集可集成。在行业龙头企业的带动下, 将内部信息标

识解析系统积极接入到行业二级标识解析节点, 实现产品的信息定位与信息共享。在统一平台的管理下, 可围绕电力产品全生命周期提高从设备制造商到电站运营商和电网公司之间的网络化协同制造水平, 如图 9 所示。

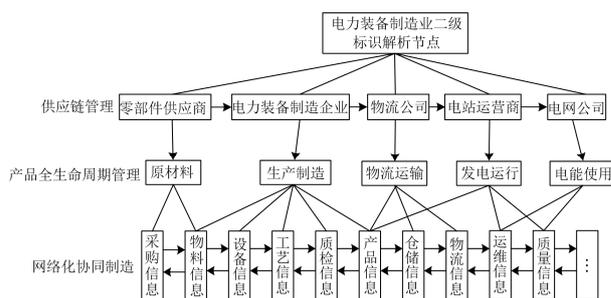


图 9 典型应用场景

Fig. 9 Typical application scenarios

在网络协同制造方面, 同一个二级节点下的各企业可以利用规范统一的标识编码进行信息交互, 充分释放信息资源, 实现跨平台、跨部门的信息共享与生产协作, 提高产品制造效率。在供应链管理方面, 唯一的标识码承载供应链全链路多环节标签信息, 不同的用户通过解析访问到相关的服务器, 依权限获取供应链上的全链路信息, 实现数据的高效共享与互通, 实时了解电力市场动态变化, 利于企业的长期发展。在全生命周期管理方面, 从零部件供应商、电力装备制造企业、物流公司再到电站运营商和电网公司, 唯一的编码标识利用标识解析系统将分散在不同信息系统的信息关联起来, 一旦哪个环节出现问题, 可实现产品的质量追溯。

建立电力装备制造业工业互联网标识解析体系, 对于建设运营二级节点的企业而言, 制定了行业标准和规范, 增强行业话语权和影响力, 同时肩负行业发展的使命具有重要社会价值。对于二级节点下辖的企业来说, 通过与其他企业的信息共享互通, 可解决“信息孤岛”的问题, 增强制造协同能力, 可提高产品生产效率与质量, 增加企业效益。

5 总结与展望

工业互联网标识解析体系将生产过程中各工业要素紧密关联起来, 可有效解决电力装备制造遇到的管理混乱、追溯困难、协同性差等问题。通过国际根节点与世界先进制造业接轨, 可促进我国制造业水平快速提高, 为我国电力装备制造业未来走向国际市场打下坚实基础。

随着 5G 技术的到来, 模态更多、结构更复杂的工业数据将海量接入、高速传输, 公共服务的访

问频率也将达到前所未有的高度, 这些新的挑战将对电力装备制造行业的信息处理能力提出更高的要求。这时更需加强电力装备工业互联网标识解析体系的自主创新能力, 并在有条件的企业进行快速示范和推广, 形成一套具有国际竞争力的标识解析配套体系。通过兼容采集并准确解析大量有效的工业数据, 将国民经济命脉牢牢掌握在自己手中, 还要注重挖掘数据附加值及衍生服务, 促进大数据产业与制造业深度融合, 使我国的工业信息化水平极大提高, 并产生巨大的经济价值。

参考文献

- [1] 何奉禄, 陈佳琦, 李钦豪, 等. 智能电网中的物联网技术应用与发展[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 58-69.
HE Fenglu, CHEN Jiaqi, LI Qin hao, et al. Application and development of internet of things in smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 58-69.
- [2] 陈皓勇, 李志豪, 陈永波, 等. 基于 5G 的泛在电力物联网[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 1-8.
CHEN Haoyong, LI Zhihao, CHEN Yongbo, et al. Ubiquitous power internet of things based on 5G[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 1-8.
- [3] 尹大海. 关于工业互联网推动工厂网络与互联网融合发展的探讨[J]. 中国管理信息化, 2019, 22(10): 74-75.
YIN Dahai. Discussion on industrial internet promoting the integration of plant network and internet[J]. China Management Informationization, 2019, 22(10): 74-75.
- [4] 余晓晖, 张恒升, 彭炎, 等. 工业互联网网络连接架构和发展趋势[J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 79-84.
YU Xiaohui, ZHANG Hengsheng, PENG Yan, et al. Networking architecture and development trend of industrial internet[J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(4): 79-84.
- [5] 曾鹏, 刘阳. 工业生产中工业互联网标识解析技术应用研究[J]. 自动化博览, 2019(11): 46-48.
ZENG Peng, LIU Yang. Research on application of industrial internet identification and resolution technology in industrial production[J]. Automation Panorama, 2019(11): 46-48.
- [6] 国务院印发《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》[J]. 中国标准化, 2018(1): 38.
Guidance on deepening "Internet + Advanced Manufacturing" to develop industrial Internet issued by the state council[J]. China Standardization, 2018(1): 38.
- [7] 工业互联网发展行动计划(2018-2020 年)[J]. 机械工业标准化与质量, 2018(8): 7-11.
Development action plan of industrial internet (2018-2020)[J]. Machinery Industry Standardization & Quality, 2018(8): 7-11.
- [8] YAN Z, LI H, ZEADALLY S, et al. Is DNS ready for ubiquitous internet of things?[J]. IEEE Access, 2019(7): 28835-28846.
- [9] KARAKANNAS A, ZHAO Z. Information centric networking for delivering big data with persistent identifiers[D]. Amsterdam: University of Amsterdam, 2014.
- [10] SCHMITT O, MAJCHRZAK T A, BINGERT S. Experimental realization of a persistent identifier infrastructure stack for named data networking[C] // 2015 IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage (NAS), August 6-7, 2015, Boston, MA, USA: 33-38.
- [11] 贾雪琴, 罗松, 胡云. 工业互联网标识及其应用研究[J]. 信息通信技术与政策, 2019(4): 1-5.
JIA Xueqin, LUO Song, HU Yun. Industrial internet identification and its application research[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2019(4): 1-5.
- [12] 杨震, 张东, 李洁, 等. 工业互联网中的标识解析技术[J]. 电信科学, 2017, 33(11): 134-140.
YANG Zhen, ZHANG Dong, LI Jie, et al. Identifier technology in industrial internet[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(11): 134-140.
- [13] 王冲华, 何小龙, 陈雪鸿. 工业互联网标识解析安全保障能力亟需提高[J]. 中国信息安全, 2019(6): 53-55.
WANG Chonghua, HE Xiaolong, CHEN Xuehong. Security capabilities of industrial Internet identity resolution need to be improved[J]. China Information Security, 2019(6): 53-55.
- [14] 任语铮, 曾诗钦, 霍如, 等. 新型工业互联网标识解析体系探讨与实践[J]. 信息通信技术与政策, 2019(8): 74-77.
REN Yuzheng, ZENG Shiqin, HUO Ru, et al. Exploration and practice of innovative identity resolution architecture for industrial internet of things[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2019(8): 74-77.
- [15] 张钰雯, 池程, 朱斯语. 工业互联网标识解析体系发展趋势[J]. 信息通信技术与政策, 2019(8): 43-46.
ZHANG Yuwen, CHI Cheng, ZHU Siyu. Development trend of industrial internet identification resolution system[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2019(8): 43-46.
- [16] 罗炜, 王来志. 浅析 DNS 的基本原理及工作流程[J]. 智能城市, 2016, 2(10): 335.
LUO Wei, WANG Laizhi. Analysis of the basic principles and workflow of DNS Intelligent[J]. City, 2016, 2(10): 335.
- [17] 胡芳芳. DNS 安全风险与应对策略研究[J]. 科技传播, 2019, 11(23): 119-120.
HU Fangfang. Research on DNS security risks and

- countermeasures[J]. *Public Communication of Science & Technology*, 2019, 11(23): 119-120.
- [18] 韩雪, 周钢, 马文静, 等. OID 标识与统一社会信用代码数据关联技术分析与研究[J]. *标准科学*, 2016(10): 116-120.
HAN Xue, ZHOU Gang, MA Wenjing, et al. Analysis and research on the database attaching technology of OID certificate and united social credit code[J]. *Standard Science*, 2016(10): 116-120.
- [19] ISO/IEC. Information technology—open systems interconnection—part 2: procedures for the object identifier resolution system operational agency: ISO/IEC 29168-2[S]. 2011.
- [20] 中国电子技术标准化研究院. 对象标识符(OID) 白皮书[R]. 2015.
China Electronics Standardization Institute. Object identifier (OID) white paper[R]. 2015.
- [21] 张宇, 夏重达, 方滨兴, 等. 一个自主开放的互联网根域名解析体系[J]. *信息安全学报*, 2017, 2(4): 57-69.
ZHANG Yu, XIA Zhongda, FANG Binxing, et al. An autonomous open root resolution architecture for domain name system in the internet[J]. *Journal of Cyber Security*, 2017, 2(4): 57-69.
- [22] TAO Y, TIAN Y, YUAN B, et al. Technical specification for national common identification management service platform for internet of things-part 2: technical requirements of access: Q/NIOT002—2016[S]. 2016.
- [23] 郭晓峰, 孙洵. Handle 系统的发展及应用[J]. *数字图书馆论坛*, 2013(8): 18-24.
GUO Xiaofeng, SUN Xun. Development and application of Handle system[J]. *Digital Library Forum*, 2013(8): 18-24.
- [24] SUN S, REILLY S, LANNOM L. Handle system namespace and service definition: RFC 3651[S]. IETF, 2003.
- [25] LANNOM S S S R L, PETRONE J. Handle system protocol (ver 2.1) specification: RFC 3652[S]. IETF, 2003.
- [26] 百度文库. 工业互联网标识解析体系架构白皮书(征求意见稿) [EB/OL]. [2018-08-29]. <https://wenku.baidu.com/view/1597a2d37ed5360cba1aa8114431b90d6c858989.html>.
Baidu Wenku. White paper on the industrial Internet identity resolution system (Consultation Draft) [EB/OL]. [2018-08-29]. <https://wenku.baidu.com/view/1597a2d37ed5360cba1aa8114431b90d6c858989.html>.
- [27] 李海花, 期治博. 工业互联网标识解析二级节点建设思路[J]. *信息通信技术与政策*, 2019(2): 61-65.
LI Haihua, QI Zhibo. Construction ideas of industrial internet resolution secondary nod[J]. *Information and Communications Technology and Policy*, 2019(2): 61-65.
- [28] 工业和信息化部. 信息化和软件服务业司参加数字对象架构技术应用论坛[EB/OL]. [2017-12-12]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146440/c5953469/content.html>.
Ministry of Industry and Information Technology. The department of information technology and software services participates in the digital object architecture technology application forum[EB/OL]. [2017-12-12]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146440/c5953469/content.html>.
- [29] 王赞, 陈光, 董晓, 等. 基于工业互联网的智慧能源服务系统架构研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(3): 77-83.
WANG Zan, CHEN Guang, DONG Xiao, et al. Research on the architecture of smart energy service system based on industrial internet[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(3): 77-83.
- [30] MURTY V V S N, KUMAR A. Multi-objective energy management in microgrids with hybrid energy sources and battery energy storage systems[J]. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2020, 5(1): 1-20. DOI: 10.1186/s41601-019-0147-z.
- [31] 邹慧宇, 徐文胜. 制造业中物品标识技术的分析与应用[J]. *制造业自动化*, 2012, 34(16): 24-27.
ZOU Huiyu, XU Wensheng. Analysis and application of object identification techniques in manufacturing[J]. *Manufacturing Automation*, 2012, 34(16): 24-27.
- [32] 王涵. 二维码标识技术及供应链应用研究[J]. *信息技术与信息化*, 2016(9): 86-89.
WANG Han. Research on two-dimensional code identification technology and application of supply chain information[J]. *Technology and Information*, 2016(9): 86-89.
- [33] 王彩峰, 陈大为, 倪晓梅, 等. RFID在机械加工中的应用探究[J]. *内燃机与配件*, 2019(24): 219-220.
WANG Caifeng, CHEN Dawei, NI Xiaomei, et al. Research on the application of RFID in mechanical processing[J]. *Internal Combustion Engine & Parts*, 2019(24): 219-220.

收稿日期: 2020-03-12

作者简介:

李晋航(1983—), 男, 通信作者, 博士, 高级工程师, 研究方向为智能制造、数字化车间技术; E-mail: lijh01@dongfang.com

高铭泽(1994—), 男, 硕士, 研究方向为伺服系统控制; E-mail: 879660094@qq.com

吴文亮(1982—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为嵌入式系统设计。E-mail: wuwl@dongfang.com

(编辑 许威)