

工业软件一体化与标识解析路径研究

王昭洋^{1,2}, 池程³, 许继平^{1,2*}, 龚向南^{1,2}, 姜露^{1,2}

(1. 北京工商大学人工智能学院, 北京 100048; 2. 中国轻工业工业互联网与大数据重点实验室, 北京 100048;
3. 中国信息通信研究院工业互联网与物联网研究所, 北京 100191)

摘要: 工业软件一体化是支撑工业企业生产运行及数字化转型的重要基础, 也是实现产品全生命周期管理的核心依托; 标识解析路径作为实现工业全要素互通的关键枢纽, 助力工业软件的深度集成与融合。本文针对我国工业软件一体化发展面临的数据孤岛、业务孤岛现状, 从产品设计生产、质量信息追溯、企业“业财融合”等角度分析了工业软件一体化的应用需求; 通过剖析工业软件一体化的国内外发展历程, 总结了工业软件在市场占有率、使用成本、系统协调联动, 高端制造应用、核心技术竞争、信息安全风险、生态体系建设等软件全套采购方面存在的问题。围绕物理网关、接口平台、云组件技术等重点方向, 提出了工业软件一体化与标识解析相结合的发展思路, 涵盖工业软件一体化集成的技术架构、标识解析技术路径、数据管理方式、核心功能等要素。研究建议, 从行业驱动、企业思想、人才支撑等角度着手, 努力推动标识解析体系与工业软件对接, 更好促进工业软件的互联互通。

关键词: 工业软件; 标识解析; 信息孤岛; 数字化转型

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Industrial Software Integration and Identification Resolution Path

Wang Zhaoyang^{1,2}, Chi Cheng³, Xu Jiping^{1,2*}, Gong Xiangnan^{1,2}, Jiang Lu^{1,2}

(1. School of Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Key Laboratory of Industrial Internet and Big Data of China's Light Industry, Beijing 100048, China; 3. Institute of Industrial Internet and Internet of Things, China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China)

Abstract: Industrial software integration is the foundation to support the production and digital transformation of industrial enterprises. It is also the core for realizing product lifecycle management. Identification resolution path is key to realizing the interoperability of all industrial elements and thus conducive to the deep integration of industrial software. In view of the data and business islands faced by industrial software integration in China, we analyze the demand for industrial software integration from perspectives of product design and production, quality information traceability, and production–financial integration. Subsequently, we examine the development history of industrial software integration in China and abroad and summarize the challenges from the aspect of data interoperability and full-set software procurement. Additionally, we propose a development idea of combining industrial software integration with identification resolution, focusing on physical gateway, interface platform, and cloud component technology; the idea includes the technical architecture, identification resolution technology path, data management mode, and core functions. Finally, we suggest to promote the coupling of the identification resolution system with industrial software from the aspect of development of industry drive, corporate culture, and talent support.

Keywords: industrial software; identification resolution; information islands; digital transformation

收稿日期: 2021-07-26; 修回日期: 2021-09-26

通讯作者: *许继平, 北京工商大学人工智能学院副教授, 研究方向为标识解析与工业互联网研究; E-mail: xujp@th.btbu.edu.cn

资助项目: 工业和信息化部 2020 年工业互联网创新发展工程项目 (20TC200A00L-3)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

近年来,随着云计算、大数据、人工智能(AI)、边缘计算、第五代移动通信(5G)、区块链等信息技术的蓬勃发展,新的生产方式、组织方式、商业模式不断涌现;世界正处于工业经济向数字经济加速转型的过渡期,以数字经济为核心的产业融合发展成为趋势[1]。工业信息化是数字经济与工业融合的典型代表,依赖工业软件的发展革新[2]。工业软件作为工业4.0时代实现智能制造的关键要素,是实现工业企业数字化、智能化转型升级的核心与“灵魂”[3],迎来了空前的发展机遇。工业软件成为具有工业品意义的“软零件、软部件、软机器”,是不可或缺的工业软装备。在工业企业中,依靠工业软件提升产品价值、降低制造成本、提高核心竞争力,是“两化融合”的切入点和突破口,对推进工业结构调整与产业升级、保持经济平稳较快发展具有重要意义。

工业软件指在工业领域设计、生产、管理等环节应用的软件,可划分为系统软件、应用软件以及介于两者之间的中间件;具体发展主要分为三个阶段:软件本身的发展阶段;软件的协同应用阶段,重在业务流程的串通与优化;“工业云”阶段,不再是单一软件,而是集成多类功能并提供“软件+服务”整体解决方案。目前,工业软件一体化是主流趋势,通过技术手段将若干个相互独立的工业软件以横向或纵向的方式进行集成,实现工业软件的异构数据互通、企业协同优化、产业链资源配置。工业软件广泛应用于工业生产的各个环节,伴随着产品从研发到生产再到销售及售后服务的全生命周期。世界工业软件市场发展平稳,2019年产值约为4100亿美元。我国工业体系规模庞大,加之正在从制造大国向制造强国转变,使得工业软件成为亟需且应用范围和深度在不断扩大;2016—2019年,我国工业软件产品收入年复合增长率为16%,超过世界平均水平;2019年工业软件产品收入达1720亿元[4]。

在新基建、双循环的背景下,产业数字化将助推工业软件一体化的快速发展[5];与其他新基建要素加速融合,形成产业链上完整的工业互联网,补齐工业企业短板,加速数字化、智能化转型[6]。随着工业互联网平台的快速兴起和应用推广,工业

互联网标识解析与工业软件一体化成为驱动行业创新发展的重要动力,赋予智能制造更为丰富的内涵特征和应用场景。面对工业互联网发展的显著趋势与迫切挑战,本文针对工业软件一体化与标识解析路径展开研究,分析应用需求、梳理发展现状、剖析面临的问题,提出新技术思路、论证新技术架构、提出发展建议,以期为工业软件行业高质量发展提供基础参考。

二、工业软件一体化需求分析

工业软件服务于工业流程中的特殊环节,需要通过数据集成为覆盖产品全生命周期的各类应用。工业软件围绕产品、生产、业务三大主线部署应用,每款工业软件可能只适用于单一的业务环节(见图1)。工业软件主要分为设计研发类工业软件,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工艺(CAPP)等;信息管理类工业软件,如产品生命周期管理(PLM)、企业资源计划(ERP)、生产执行系统(MES)等;工业控制类工业软件,如数据采集与监视控制系统(SCADA)、可编程逻辑控制单元(PLC)等。在工业产品的全生命周期内,需要多类工业软件的协同合作,因而跨软件的数据互操作极为重要。

(一) 宏观需求

工业软件的信息孤岛现象严重阻碍了企业数字化转型[7]。一个工业产品在其全生命周期中可能涉及跨功能、跨学科、跨品牌的多种工业软件,相应的底层逻辑、数据格式、应用场景区别明显;在一个完整的工业流程中,研发设计、生产控制、信息管理等工业软件,其数据、指令、信号的传递层层受阻,导致生产链条难以实现有效承接[8]。①研发设计类工业软件侧重于基础学科,覆盖产品的研发设计阶段,工具属性明显[9];②生产控制类工业软件侧重于产品生产的流程和工艺,工程属性明显;③信息管理类工业软件侧重于企业的业务管理与业务模型,管理属性明显。这些工业软件由不同厂商提供,服务于不同业务、涉及多种学科,加之各软件之间没有集成,造成企业在各个业务环节存在多个信息孤岛,影响了产品的设计迭代周期、

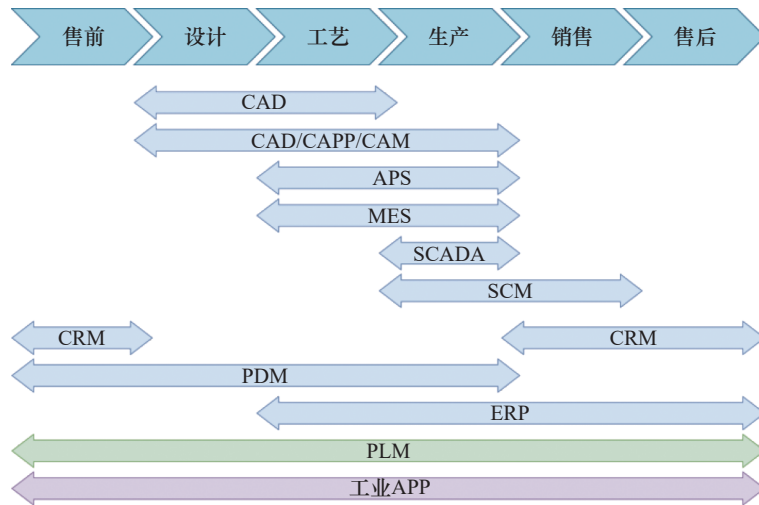


图1 工业软件业务场景

注：APS 表示高级生产规划与排程系统；SCM 表示供应链管理系统；CRM 表示客户关系管理系统；PDM 表示产品数据管理系统；APP 表示应用程序。

质量追溯效果、供应链金融效率 [10]。

目前，国内外工业软件厂商、工业企业积极关注工业软件的一体化集成，追求各工业软件的数据无缝地在设计生产流程中双向传递。发达国家率先建立了相对完整而又特色鲜明的工业体系，依托信息技术进步实施了工业软件一体化建设。相比之下我国的行业发展存在差距，可能制约制造强国建设进程。因此，随着我国智能制造能力的稳步提升，推动工业软件一体化是完善并强化工业体系的迫切需求。工业软件一体化集成既可保障智能制造、高端制造发展，加速工业互联网的广泛落地应用，也可提高工业软件的行业渗透率，形成良好的规模效应和协同优势。

（二）技术需求

产业链协同是工业的发展趋势，也是企业数字化转型的终极目标之一。而在当前，实现产业链协同对工业软件的要求极为苛刻，要么只能使用指定的软件，要么需要高昂的对接成本（多数情况下也只能实现指定的功能），收益率极低。工业互联网协同制造在以下方面对工业软件一体化提出了技术需求。

1. 缩短产品设计生产的迭代时间

异构 PDM 之间的产品信息获取困难，进度难以掌控，异地协同设计评估手段也显缺乏。不同企业、不同产品的开发数据通常分别存储在各自的 PDM 数据库中，跨企业的 PDM 设计数据查询、共

享困难。在产品数据交换的过程中，没有统一的对象元数据模型标准（如产品类、名称、标识编码、版本、产品对象的数据与文档），产品数据的异构特性使得数据的唯一性、一致性、实时性很难保证。异构 PDM 之间缺乏产品协同设计过程的统一管理，主厂商很难第一时间从供应商处获取采购件、外协工装的设计开发进度，设计需求、进度要求的更改也很难实时传递至采购件供应商，导致无法及时评估外协部件能否满足总体设计需求。对于产品的异地协同开发，企业间的信息传递等非开发性工作环节耗时过多，影响了产品设计周期，亟需可靠高效的多人异地协同评估手段，开展产品的异地协同评估。标识解析与工业软件一体化技术能够打通项目管理信息孤岛，辅助项目高效管控，保持生产执行对工艺优化的快速响应，提升工艺柔性能力。

2. 降低质量信息追溯难度并提高信用

质量信息追溯过程的数据开放不足、相互孤立，导致企业间存在信任危机；解决方案缺乏开放的开源工具，导致技术要求高、开发难度大。单个工业软件覆盖面有限，质量追溯很难实现全链条覆盖，标识数据的开放不足进一步制约了产品追溯体系建设。工业产品的生产、流通、监管等过程分属不同部门管理，相应平台互相独立（不直接连通）；区域性、行业性质量追溯平台设置重叠，跨区域、跨行业数据需求难以满足的问题随之而来。追溯信息难辨真伪、可信追溯新技术不成熟等，弱化了追溯数据的可靠性及应用价值。追溯数据仅来源于单一

企业内或少数相关企业,无法确保产品信息准确,致使追溯范围产生局限性;企业与客户在产品质量与信用信息方面存在不对等,可能导致卖方投机、消费者失信等情况。标识数据的有效溯源,将突破消费者与厂商之间的信息交互壁垒,提升售后产品的信息透明度。

3. 破除企业“业财融合”的信息壁垒

产品供应链受全生命周期数据壁垒的影响,造成供应链金融长期存在“强需求”“弱信用”的矛盾;核心企业渗透产业全链条难度大,对二级以上供应商的信用传递不足,而小微企业信用自证与融资困难问题突出。银行认可的是核心企业控货与调节销售能力,在无法可靠获取上下游企业生产数据的情况下,仅有对上游供应商(核心企业有直接的应付账款义务)提供预付款或注资的意愿,由此导致二级、三级供应商/经销商的融资需求得不到满足,供应链金融的业务总量受到制约。标识解析与工业软件一体化能够构建支撑“双循环”新格局下的供应链信息全球互通,通过实时动态、全面精准的供应链金融能力来加强企业信誉评估体系。

三、工业软件一体化的发展现状

(一) 国际龙头企业主导行业发展

国际龙头企业立足自身特色,通过兼并收购快速扩充能力,形成了平台化、云化的工业软件生态,以工业软件云平台的方式进行跨工业软件的数据集成。达索系统集团、西门子股份公司的相关产品代表了国际工业软件一体化的发展趋势[11,12]。

2019年,达索系统公司将SolidWorks软件更名为3D Experience,说明单一软件工具品牌的重要性趋于弱化,平台成为工业软件发展的主要方向;以3D Experience平台为基础,构建并实现3D设计、工程、3D CAD、建模、仿真、数据管理、流程管理,可为中小企业用户提供统一的数字环境。

西门子股份公司积极打造数字化能力手段,长期坚持“数字孪生”战略,较多通过收购方式获得所需的工业软件;2016年推出的工业物联网操作系统MindSphere,即基于亚马逊公司的基础设施即服务(IaaS)提供平台服务。向下连接各类设备,提供统一接口,实现不同设备之间的互联互通;向上

为各类应用软件提供开发、运营等环境,支持工业企业客户在同一平台实现对生产流程所有数据的收集与分析,据此优化运行效率[13,14]。

(二) 分散技术方案国内应用普遍

国内工业软件企业较多针对目标用户的特定场景,采用各种数据一体化技术方案进行异构系统之间的集成[15]。①网页抓取技术,主要针对历史遗留的老旧系统、关联原有业务逻辑较为复杂的系统,企业内外部系统隔离、第三方服务化接口协调开发困难等情况,开展数据一体化处理及系统集成[16,17]。②数据库日志变化技术,对数据库进行特定的配置,监控数据库日志及其变化并以消息中间件的方式传播数据变化;一般用于企业内部系统之间的一体化,不依赖于第三方系统的接口,可满足一定的数据实时性要求[18]。③服务与服务之间的数据交换及一体化,在同一个事务中实现不同系统之间数据的同时变化、同时回退且只允许同时成功、同时失败[19,20]。④第三方调用应用程序接口(API),针对企业的内部异构系统通常基于不同体系结构和开发技术的情况,编写结构化查询语言(SQL),将SQL语句自动转化为开放API(供第三方系统调用)[21,22]。⑤Kafka连接器集成,作为可扩展流式数据传输工具,为智能化数据管理平台提供相对成熟稳定的基础框架及工具,既可作为源端从数据库提取数据到Kafka,也可作为接收端从一个Kafka主题中将数据推送到数据库[23]。

国内企业用户较多开展场景化的低成本改造,数据互通低效繁杂,难以形成规模化效应。上述单一方案通常不足以全面解决企业在数据一体化、集成异构系统等方面的需求,因此需要综合采取多种方案,既造成系统难以维护和升级的问题,也影响协同合作效率和系统安全稳定性[24]。

四、工业软件一体化的现状分析

(一) 打通数据孤岛效率低下

国内工业软件企业数量众多,长期追求单点技术突破。应用单点技术意味着数据孤岛,导致流程冗长、数据失真,在数据互联互通方面的壁垒越来越厚。打通数据孤岛的传统做法是采用数据抓取、

数据库接口等方式从软件系统的数据库调取数据，由此间接实现跨软件系统的数据一体化，但也存在一些问题。

一是进口软件占据市场主导地位的现象难以规避。国内工业软件市场尤其是核心软件基本被国际品牌所占据，如 CAD 软件 95% 以上采用进口产品。国产工业软件面临着生态薄弱、建模与虚拟仿真能力不足、行业标准缺失、综合集成应用程度偏低等基础性问题，始终制约着国产工业软件一体化的发展水平。

二是工业软件发展投入居高不下。软件数据资源是工业软件供应商的重要战略资源，原始软件厂商掌握着数据库权限、数据字典，在请求一体化的过程中把握着话语权，在涉及自身利益的事项上不愿让步，倾向于抬高接口费用以弥补自身的可能损失。究其本质，工业软件是工业产品，需要很长的周期去积淀和发展；不同软件的数据应用模式差异明显，分析原有数据库、开展数据的筛选与再利用也是一项长周期、高成本的技术工作。

三是软件系统串联协调困难，这是国内工业软件一体化的主要挑战。各个软件系统通常分属不同的软件体系和供应商，需要逐一寻求相应软件厂商协调配合，甚至一个模块就需要多方共同参与协调，难度极大。国内制造企业习惯于使用功能成熟的进口工业软件，但易受国际经济、贸易形势变化的干扰，合作协调的过程可能面临额外阻力。此外，国内工业软件规范缺失，归纳集成运用程度不高，加之国际工业软件企业在规范层面也很难统一，给程序兼容、数据互联互通构成现实困难。

（二）整套采购国外工业软件不可持续

尽管国际龙头企业的工业软件生态完善、技术成熟、功能齐备，但全面采购进口产品来实现工业软件集成面临着现实问题。

一是高端制造工业软件受国外技术掣肘风险。虽然采购进口工业软件能够最大化地解决工业软件数据孤岛问题，但众多工业企业容易与进口产品的生态体系进行深度绑定。研发设计类工业软件是制造业高质量发展所必备的核心工具，但自主产品应用和迭代过程的缺失，必然阻碍高端制造所需关键工业软件的自主研发，可能导致技术逐步落后而成

为事实上的“卡脖子”环节，不利于我国制造业转型和可持续发展。

二是工业企业可能面临信息安全风险。一些重要装备行业大量应用进口工业软件，且为了提升产业技术水平而有加大应用比例的趋势；但进口软件的信息安全风险难以绝对排除，若发生信息泄露和攻击事件则可能造成严重后果。

三是工业软件使用成本高昂。进口工业软件价格昂贵，使用门槛较高，国内中小企业若全面采用必然面临成本压力。部分企业的工业软件采购过程不够专业，甚至因盲目采购而造成不同厂商、多个品牌工业软件并存的情况，重复采购耗费了资源、加大了成本。

（三）解决问题的可能技术方向

随着我国工业软件企业综合实力的提升，部分国产工业软件能力进步明显，在替代进口软件为工业企业提供关键服务方面具有一定的基础。然而，少量进口软件因底层技术的壁垒、使用惯性的延续，尚无法为国产软件所替换；个别软件的不可替代性将导致工业数据互通、软件对接存在潜在问题，直接影响工业软件体系国产化、一体化的进程。一般认为，工业软件国产化主要受制于国际龙头企业的工业软件生态。

为适度脱离进口工业软件的生态体系、克服个别软件难以替代等问题，工业互联网标识解析技术是重要的发展方向：先由部分国产工业软件替代进口产品，打破进口工业软件生态体系事实上的垄断地位，对于不可替代的国外工业软件则暂时保留；随后基于标识解析的物理网关、API 接口、云组件等，全面实现异构数据转化、信息互通等功能。这一思路的价值在于，一方面从标识解析体系入手，建立统一的数据标准体系，促进国产工业软件的品牌生态、业务生态、功能生态建设，快速形成国产工业软件统一协作的发展局面；另一方面，工业企业的数​​据经由标识解析中间件注册到标识解析体系，产业链上的其他企业可通过解析寻址找到相关数据的位置，再通过标识解析中间件转换为统一的数据模型，由此实现关键数据的企业间点对点传输。运用工业互联网标识解析技术，支持实现国产/进口工业软件的数据集成，打通供应链各个环节的数据，推动全局生产规划的高效协同。

五、工业软件一体化的新策略——工业互联网标识解析

对于工业企业，依靠工业软件提升工业产品价值、降低企业成本、提高核心竞争力，是“两化融合”重要的切入点和突破口，因而推动工业软件一体化是领域亟需。作为数字世界的身份证，标识解析系统是驱动工业互联网创新发展的关键核心设施；与物理网关、接口平台、云一体化技术结合，可降低工业软件一体化成本，提升工业软件服务能力，赋能全产业链互联互通（见图2）。

在工业软件一体化研究中，工业互联网标识解析要求对人、物、料均有唯一且无歧义命名（即标识，由字母、数字构成），一般采用层次标识。以网关为例，命名规则定义为命名机构-物-硬件-网络设备-物理层-网际互连协议（IP）地址；建立 chord 环，将各节点的 IP、资源等标识作为建制（key），当前存放节点唯一编码（ID）为 value1，实际信息存储的 IP 位置作为 value2，以此构成键值对（key, value1, value2）；存储阶段采用哈希映射（Hash）将键值对分散在 chord 环上，在考虑负载均衡的情况下计算 3 个 replicas 的放置位置；查找阶段根据目的资源的 key 来计算 Hash（key），查找方式为和弦算法。

标识解析技术能够解决域名解析（DNS）服务单一、资源描述能力不强的问题，扩展对物品、传

感器、服务等主体标识，克服基于 IP 寻址存在的单点负载过重、服务拥塞等不足，适应工业物联网（IIOT）海量数据超低时延的解析要求。标识解析结果包括但不限于 IP 地址，可满足工业互联网多样化、差异化需求。

（一）物理网关

作为企业内部工业互联网标识解析的核心部件，物理网关是实现企业内部工业软件接驳工业互联网信息流通的核心技术。边缘物联网网关具有软件可定义、接口高度集成、网络边界数据隔离与交换等特性，提供强大的边缘计算能力，适应工业运行条件；集成工业数据采集所需的一体化接口，如 RS485、MBUS、HART、远距离无线电（LoRa）等，匹配复杂环境下的工业软件一体化。物理网关扩展开发能力完备，支持基于一体化工业软件的二次开发，用户自定义的数据格式、传输方向、接口功能；提供类似私有云服务，通过 IaaS、平台即服务（PaaS）、软件即服务（SaaS）3 种模式构建企业内部工业互联网标识体系。

高性能网络处理平台系统是物理网关在工业互联网领域的典型应用案例。平台产品包括工业互联网网关、IIoT 网关、应用交付负载均衡设备，网络深度数据包检测（DPI）设备，融合应用分流设备，通用路由封装（GRE）网关、虚拟隧道端点（vTEP）网关、虚拟路由器（vRouter）、虚拟防火墙（vFW），

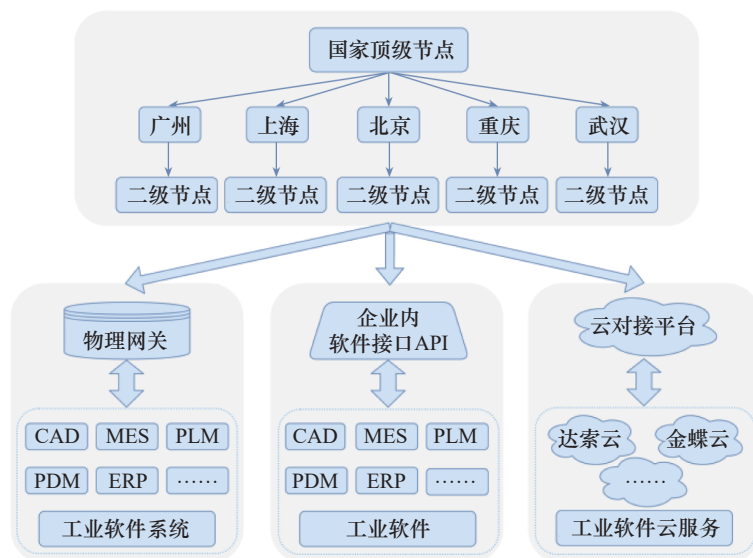


图2 基于工业互联网标识解析的工业软件一体化策略

注：达索表示达索系统公司；金蝶表示金蝶国际软件集团有限公司。

视觉信息显示系统（vIDS），P1、P2、P3、P4 等网络应用产品。

以工业设备异构数据物联网（IoT）模块为例，物理网关的核心支撑能力体现在三方面：一是以非侵入的方式将企业内部工业软件系统中的信息进行汇聚、转换、整合、缓存，构建实时查询业务产品数据的统一入口；二是非侵入式地获取工业软件信息，避免数据库、应用接口层面的数据采集，而是直接从用户页面获得所需数据内容，提供配置、标记工具辅助数据的精准采集；三是一体化获取工业设备信息，通过与常规工业数据兼容的采集接口直接采集工业设备信息，具有宽泛的设备接入能力（千台设备规模）。此外，标识解析区域服务器作为可选项，以中间件形式提供固定 IP、非固定 IP 的链路联通功能，为中小型企业提供智能分布式标识系统（IDIS）解决方案。

工业软件一体化与标识解析相结合，支持在平台架构上部署工业互联网网关、IIoT 应用模块，支持传输控制协议（TCP）、用户数据报协议（UDP）、消息队列遥测传输协议（MQTT）、受限应用协议（CoAP）、Modbus 通信协议、程序总线网络（PROFIBUS）、超文本传输协议（HTTP）、HTTP 安全版、KFAKA 等常用协议以及部分企业私有协议；支持外接 LoRa、行动热点（Wi-Fi）、第四代移动通信（4G）、5G 等无线通信模块，体现出性能高、可靠性高、部署灵活、成本低、维护简单等应用优势。

（二）接口平台

接口是一种用于定义程序的协议，用于描述属于任何类或结构的一组相关行为，为应用程序、开发人员提供基于软件或硬件访问一组例程的能力（无需访问源码或理解内部工作机制）。在工业互联网标识解析系统的层次架构中，接口平台主要服务两类对象：一是对于标识解析体系，降低标识接入企业应用的技术门槛，让各种工业企业信息系统在低代码情况下进行标识体系一体化；二是对于工业企业信息系统的应用，提供各类基于标识的应用场景接口，便于理解标识用途并构建技术支撑。

接口平台通常采用微服务架构。一个微服务就是一个独立的实体，可以独立部署和升级；微服务实例可被替换而不影响其他微服务。标识解析接口平台可拆分为标识服务、主数据管理、元数据管理、大数据服务、业务场景服务、应用软件接口服务等模块（见图 3）。

标识服务模块提供与标识相关的能力服务，如解析、注册、管理、安全、发现等标识功能以及标识涉及的主数据、元数据管理能力。大数据服务主要提供非标识数据的存储、治理、分析、建模等能力。标识应用场景将标识与业务结合起来，服务产业链、供应链等应用软件之间，企业间，行业间的数据关系应用，丰富平台能力。标识与大数据中台结合为应用软件提供数据中台能力。工业信息应用软件接口分为从业务层面拆分的通用类、从厂家层

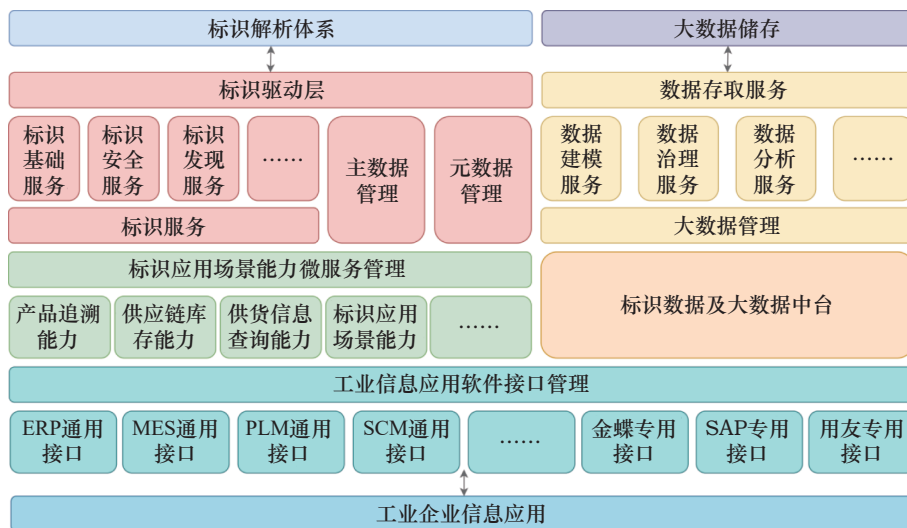


图 3 标识解析接口平台技术架构

注：ERP 表示企业资源计划系统；MES 表示制造执行系统；PLM 表示产品生命周期管理系统；SCM 表示软件配置管理系统；SAP 表示德国 SAP 公司的企业管理解决方案；用友表示用友网络科技股份有限公司的软件产品。

面拆分的专用类，为工业企业提供原有应用的接入标识体系。例如，K/3Cloud 用于标识解析系统与工业企业内部 ERP 系统对接，以接口来实现标识系统与工业软件的信息及服务同步；通过标识解析系统与 K/3Cloud 系统之间的信息互通，实现物流订单信息的查看、保存、提交、审核、反审核、删除等功能。接口平台是一种轻量级、可维护、可伸缩的 Web 服务，以 RESTful 架构方式实施开发；将物流订单中的发货物料信息、发货时间、发货计划人、收货信息等接入标识服务，贯通了工业企业的内部码与物流码，加速物流信息的流通速度，提升物流服务的准确度。

（三）云组件技术

工业软件与标识解析组件的一体化涉及工业生产全流程、全生产要素的万物互联。云组件技术是有竞争力的解决方式，如基于微服务的工业互联网云平台能够通过标识解析方式实现工业软件的一体化。基于云的“标识解析与工业软件一体化服务组件”，融合了互联网微服务架构、云化能力、中间件，对标识解析与异构工业软件一体化中的共性问题进行技术封装，屏蔽操作环境差异；面向工业企业用户提供标准化、便捷性的服务接口，提升一体化的效率与质量，降低了开发运维难度（见图 4）。

工业软件云平台由多个独立的微服务组成，每个微服务都有专属的业务逻辑和数据库，便于技术

升级、应用灵活。云标识微服务通过集成来自边缘设备的标识数据，实现对设备消息的内容解析、过滤提取、重新整合；进而转发到后端服务，无缝连接云平台后端的存储组件、函数计算、大数据分析套件、工业软件应用，打破设备及工业软件之间的数据隔离。云标识微服务对海量工业标识进行统一解析，使用消息队列服务之上的 XML/JSON 等格式或者 RESTful Web 服务来实施风险管理、流程管理；将统计数据或必要信息传输到其他信息技术或操作技术系统，如 PLM、ERP、MES、SCM、仓储管理系统（WMS）等。

六、工业软件一体化与标识解析的发展建议

（一）深化企业应用，助力行业驱动

标识解析推动工业软件一体化产业技术革新和需求变迁。工业互联网标识解析技术与互联网、云计算、大数据、AI、智能感应等技术进行多层次融合，推动形成产品智能追溯、供应链协同、产品全生命周期管理等创新技术变革。探索标识解析与工业软件的深化融合、与生产端数据的全面一体化，形成以供应链为核心的信息流、物流、资金流等业务数据闭环。针对客户需求日益个性化、多元化的趋势，工业软件一体化应积极探索企业的市场精准预判能力，发展精准营销的新模式，借助标识实现海量用户与企业间的交互一体化，使得大规模个性

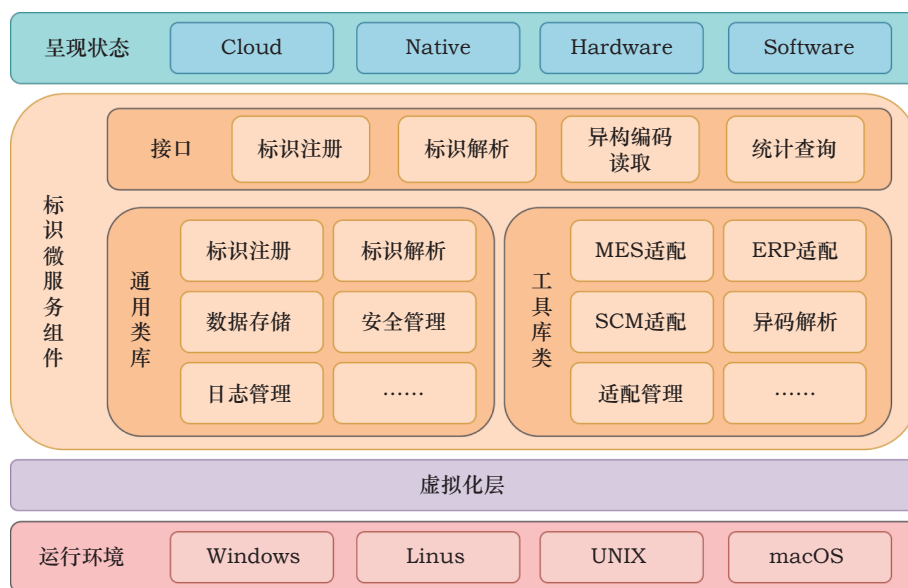


图 4 云标识微服务参考架构

化定制、精准高效决策等成为可能。

工业软件一体化应致力于优化企业资源配置、赋能产业效率提升,通过标识解析打通工业软件以实现生产要素在世界范围内的高速流通。把握行业增长率变化、客户需求切换、技术与营销革新、行业日益全球化等驱动因素,坚持以企业需求为出发点,围绕工业企业在产品生命周期各环节的需求来提炼场景,提供反映行业特征的中间件产品服务。

(二) 打造产业生态,变革企业思想

标识解析技术与工业软件的融合,打通企业内部、企业之间的信息孤岛,伴生的大量应用场景也将成为企业长远发展新的驱动力。建立解决方案供应商目录,培育一批中间件供应商;持续建设中间件提供商、工业企业之间的需求反馈渠道,促进中间件提供商快速掌握需求和使用反馈,加速中间件产品迭代。加强标准研究与制定,以基础标准为先导,对标识解析与工业软件对接中间件的定义、特征、服务方式、部署模式等形成清晰认识,更好指导工业企业对中间件服务的选择、评价、拓展应用。

同步推动工业企业的经营思想变革,鼓励建立协同制造、质量信用体系,做好行业协同推广与示范工作。工业企业应深入论证并积极谋划,加快推进企业内部的数字转型、智能升级,实施配套人才培养和基础设施建设;通过统一、标准、开放的架构体系与接口,与各个垂直行业的合作伙伴展开深度合作并融合细分领域优势,形成工业产品全生命周期的专业数字化解决方案,驱动以数据为核心、以工业软件互联互通为目标的生态体系建设。

(三) 构建培养机制,强化人才支撑

工业互联网标识解析发展涉及系统建设、技术研究、应用推广、生态建设诸多方面,随着多个国家重点项目的上线试运行,相关建设已步入产业化发展的关键阶段。建议加强工业互联网标识解析与一体化方向的人才培育力度,注重人才培养成效(具备标识应用、技术标准、产业生态等研究与应用能力)并形成规模;培养机制与工业互联网领域的前沿发展相结合,持续推动前沿技术的工程化应用。

工业软件一体化方向的人才培养具有多学科、大跨度、深层次交叉等特点,对传统制造业人才的

转型升级提出了新要求。培养重点是创新能力与操作能力兼具的复合型人才,既熟悉学术与基础研究,也有较强的实践能力,适应在复杂工作环境下解决疑难问题的工程需求,为工业软件与标识解析应用的一体化和再创新提供智力保障。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: July 26, 2021; **Revised date:** September 26, 2021

Corresponding author: Xu Jiping is an associate professor from the School of Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University. His major research field is identification resolution and industrial Internet research. E-mail: xujp@th.btbu.edu.cn

Funding project: 2020 Industrial Internet Innovation and Development Project of the Ministry of Industry and Information Technology (20TC200A00L-3)

参考文献

- [1] 新华网. 习近平主持召开中央全面深化改革委员会第十四次会议 [EB/OL]. (2020-06-30)[2021-02-24]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-06/30/c_1126179095.htm. Xinhua Net. Xi Jinping hosted the 14th meeting of Central Committee for Deepening Overall Reform [EB/OL]. (2020-06-30)[2021-02-24]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-06/30/c_1126179095.htm.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部.《工业和信息化部办公厅关于推动工业互联网加快发展的通知》政策解读 [EB/OL]. (2020-03-21)[2021-01-05]. http://www.gov.cn/zhengce/2020-03/21/content_5493935.htm. Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Policy interpretation on *Notice of the General Office of the Ministry of Industry and Information Technology on accelerating the development of the industrial Internet* [EB/OL]. (2020-03-21) [2021-01-05]. http://www.gov.cn/zhengce/2020-03/21/content_5493935.htm.
- [3] 边缘计算产业联盟, 工业互联网产业联盟. 边缘计算与云计算协同白皮书(2018) [R]. 北京: 边缘计算产业联盟, 工业互联网产业联盟, 2018. Edge Computing Consortium, Alliance of Industrial Internet. Collaborative edge computing and cloud computing white paper (2018) [R]. Beijing: Edge Computing Consortium, Alliance of Industrial Internet, 2018.
- [4] 蒋昕昊, 张冠男. 我国工业软件产业现状、发展趋势与基础分析 [J]. 世界电信, 2016 (2): 13-18. Jiang X H, Zhang G N. Industrial software industry status quo, development trend and basic analysis [J]. World Telecommunications, 2016 (2): 13-18.
- [5] Zhou Y, Zang J Y, Miao Z Z, et al. Upgrading pathways of intelligent manufacturing in China: Transitioning across technological paradigms [J]. Engineering, 2019, 5(4): 691-701.
- [6] 中华人民共和国国务院. 中国制造2025 [EB/OL]. (2015-05-08)

- [2019-10-08]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- The State Council of the People's Republic of China. Made in China 2025 [EB/OL]. (2015-05-08) [2019-10-08]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- [7] 易树平, 刘冕, 温沛涵. 基于全生命周期的云制造服务研究综述 [J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 871–883.
Yi S P, Liu M, Wen P H. Overview of cloud manufacturing service based on lifecycle theory [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2016, 22(4): 871–883.
- [8] Hinterreiter D, Prähofer H, Linsbauer L, et al. Feature-oriented evolution of automation software systems in industrial software ecosystems [C]. Funchal: 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2018.
- [9] 全维维, 贾宁, 高超, 等. 基于研发设计软件的License资源共享平台研究 [J]. 计算机与网络, 2018, 44(10): 65–68.
Tong W W, Jia N, Gao C, et al. Research on license resource sharing platform based on R & D and design software [J]. Computer & Network, 2018, 44(10): 65–68.
- [10] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. Engineering, 2018, 4(1): 11–20.
- [11] 工业互联网产业联盟. 工业互联网构筑第四次工业革命的基石——国际工业互联网发展跟踪研究 [J]. 中国电信业, 2019 (3): 19–23.
Alliance of Industrial Internet. Industrial Internet builds the cornerstone of the fourth industrial revolution: Tracking research on the development of international industrial Internet [J]. China Telecommunication Trade, 2019 (3): 19–23.
- [12] 周倩. 中国工业软件企业发展现状与瓶颈突破梯度 [J]. 中国工业和信息化, 2020 (3): 56–61.
Zhou J. Development status of Chinese industrial software enterprises and breakthrough of bottleneck gradient [J]. China Industry and Information Technology, 2020 (3): 56–61.
- [13] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于印发《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》的通知 [EB/OL]. (2020-12-22) [2021-01-15]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/13/content_5579519.htm.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Notice on issuing the *Industrial Internet innovation and development action plan (2021—2023)* [EB/OL]. (2020-12-22)[2021-01-15]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/13/content_5579519.htm.
- [14] 王晨, 宋亮, 李少昆. 工业互联网平台: 发展趋势与挑战 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 15–19.
Wang C, Song L, Li S K. The industrial Internet platform: Trend and challenges [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(2): 15–19.
- [15] 任语铮, 谢人超, 曾诗软, 等. 工业互联网标识解析体系综述 [J]. 通信学报, 2019, 40(11): 138–155.
Ren Y Z, Xie R C, Zeng S Q, et al. Survey of identity resolution system in industrial Internet of things [J]. Journal of Communications, 2019, 40(11): 138–155.
- [16] Aujla G S, Singh A, Kumar N. Adaptflow: Adaptive flow forwarding scheme for software-defined industrial networks [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 7(7): 5843–5851.
- [17] Wei Y, Blake M B. Service-oriented computing and cloud computing: Challenges and opportunities [J]. IEEE Internet Computing, 2010, 14(6): 72–75.
- [18] Tao F, Zuo Y, Xu L D, et al. IoT-based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(2): 1547–1557.
- [19] Villamizar M, Garces O, Castro H, et al. Evaluating the monolithic and the microservice architecture pattern to deploy web applications in the cloud [C]. Bogota: 2015 10th Computing Colombian Conference (10CCC), 2015.
- [20] Liu Y X, Wang J, Li J Q, et al. Zero-bias deep learning for accurate identification of Internet of things (IoT) devices [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 11(4): 2627–2634.
- [21] Kang Y P, Hauswald J, Gao C, et al. Neurosurgeon: Collaborative intelligence between the cloud and mobile edge [J]. ACM SIGARCH Computer Architecture News, 2017, 45(1): 615–629.
- [22] Gu H F, Zhang J N, Liu T, et al. DIAVA: A traffic-based framework for detection of SQL injection attacks and vulnerability analysis of leaked data [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2020, 69(1): 188–202.
- [23] Sgambelluri A, Pacini A, Paolucci F, et al. Reliable and scalable Kafka-based framework for optical network telemetry [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2021, 13(10): 42–52.
- [24] 郭朝晖. 工业互联网技术发展现状及趋势分析 [J]. 自动化仪表, 2020, 41(5): 1–4.
Guo Z H. Analysis of current situation and trend on industrial Internet technology [J]. Process Automation Instrumentation, 2020, 41(5): 1–4.