

智慧物联网系统发展战略研究

李伯虎^{1,2}, 柴旭东³, 刘阳^{3*}, 陈磊⁴, 韦达茵³

(1. 中国航天科工集团有限公司, 北京 100048; 2. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191;
3. 航天云网科技发展有限责任公司, 北京 100144; 4. 中国工程院战略咨询中心, 北京 100088)

摘要: 物联网作为新型数字基础设施的重要组成部分, 与第五代移动通信、大数据、云计算、人工智能、区块链、数字孪生等技术深度融合, 正在深刻改变技术产业体系、推动数字经济快速发展, 开启了万物智联的“智慧物联网系统”新阶段。本文梳理了我国物联网的发展现状, 提出了智慧物联网系统(物联网2.0)概念并阐述了其内涵、体系架构、技术谱系、使能关键技术; 针对智能制造、智能农业、智能电网、智能医疗、智能交通、智能环保等领域的应用场景, 提炼了智慧物联网系统的实践案例, 展示了智慧物联网系统的应用价值。研究建议, 实施“物联网+人工智能+新一代信息通信技术+新应用领域专业技术”技术融合创新专项, 关注智慧物联网系统/云原生平台/低代码(无代码)应用开发环境及工具集、面向智慧物联网系统的高端传感器、物联网芯片/专用器件等智能产品的研发与产业化, 开展云边端协同、自主可控、安全可信的智慧物联网系统应用示范。

关键词: 智慧物联网系统; 物联网2.0; 体系架构; 技术谱系; 使能技术; 应用场景

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Development Strategy of Smart Internet of Things System

Li Bohu^{1,2}, Chai Xudong³, Liu Yang^{3*}, Chen Lei⁴, Wei Dayin³

(1. China Aerospace Science and Industry Corporation Limited, Beijing 100048, China; 2. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; 3. CASICloud-Tech Co., Ltd., Beijing 100144, China;
4. Center for Strategic Studies, Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China)

Abstract: The Internet of Things (IoT) is an important component of the new digital infrastructure and is deeply integrated with the fifth-generation mobile communication (5G), big data, cloud computing, artificial intelligence (AI), blockchain, and digital twin. It is profoundly changing the technology system and promoting the digital economy, ushering in a new stage of smart IoT system in which everything is connected. This paper reviews the development status of IoT in China, proposes the concept of smart IoT system (IoT 2.0), and expounds on the implications, architecture, technical pedigree, and key enabling technologies. Practical cases of smart IoT system are explored considering the application scenarios of intelligent manufacturing, smart agriculture, smart grid, smart healthcare, intelligent transportation, and intelligent environmental protection, demonstrating the application values of the smart IoT system. Furthermore, we suggest that a technology integration innovation project that integrates IoT, AI, 5G, and new application field technologies should be implemented; focus should be placed on the research, development, and industrialization of intelligent products such as smart IoT systems / cloud native platforms / low-code (no-code) application development environments and toolsets,

收稿日期: 2022-03-16; 修回日期: 2022-05-08

通讯作者: *刘阳, 航天云网科技发展有限责任公司高级工程师, 研究方向为智能制造、机器视觉; E-mail: airuosi0626@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“新时代、新业态下新型‘互联网+’行动计划发展战略研究”(2021-XZ-24)

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

high-end sensors for smart IoT systems, and IoT chips/ special components; and application demonstration of cloud-edge-end collaborative, autonomous controllable, safe, and credible smart IoT systems should be conducted.

Keywords: smart Internet of Things system; Internet of Things 2.0; architecture; technical pedigree; enabling technology; application scenarios

一、前言

数字经济成为重要的新经济形态。随着经济社会数字化转型、智能化升级步伐加快，物联网已是数字经济中新型基础设施的重要组成部分，成为新一轮产业革命的重要方向和推动力量，对于培育数字经济增长点、支撑产业转型升级具有重要意义。

物联网概念在2005年国际电信联盟（ITU）发布的《ITU 互联网报告2005：物联网》中被正式提出；本研究将其解读为物联网1.0，认为“它通过泛在网络，借助物体识别技术（如射频识别）、传感技术、嵌入式智能技术、小型化技术（如纳米结构），将世界万物连接在一起，通过感知世界、认识世界、改造世界，进而推动整个世界发展。”近年来，发达国家在物联网使能技术、数字技术以及相关产业发展方面积极布局。我国也高度重视物联网发展并提升至国家战略高度，如《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》（2021年）要求，重点发展云计算、大数据、物联网、工业互联网、区块链、人工智能（AI）、虚拟现实（VR）/增强现实（AR）等七大产业；《物联网新型基础设施建设三年行动计划（2021—2023）》（2021年）提出，到2023年国内主要城市初步建成物联网新型基础设施。

当前正处于智能信息技术快速发展与突发公共卫生事件应急防控相交织的新时代，面临着国际激烈竞争与多边合作的新态势；我国进入了“全面建设社会主义现代化国家的新发展阶段”，构建“以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进”新发展格局的新征程。为适应上述新时代、新态势、新征程，“新时代、新态势下新型‘互联网+’行动计划发展战略研究”项目组认为，物联网发展也要迈进新征程：开启“万物智联”的智慧物联网系统（物联网2.0）新发展阶段；贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念 [1~3]；构建“技术、产业、应用、人才、政策、保障体系一体化创新”

的新发展格局。

本文内容源自中国工程院咨询项目“新时代、新态势下新型‘互联网+’行动计划发展战略研究” [4]。着眼于深刻理解我国物联网发展，提出适应新时代、新态势的智慧物联网系统（物联网2.0）概念内涵、体系架构、技术体系框架；凝练智慧物联网系统应用中的共性赋能技术和应用关键技术，总结智慧物联网系统在代表性领域的应用场景和案例，进一步形成智慧物联网系统的发展建议。

二、我国物联网发展现状分析

（一）物联网发展态势

物联网关键核心技术形成阶段性突破，尤其是在感知、网络、平台、融合应用等技术方向取得显著进展。例如，在新型感知网络的技术工程创新方面达到世界先进水平，以低代码/无代码为目标的“物联网+”应用开发环境迅速发展，小微智能传感器、智能设备等透明电网关键技术与装备获得广泛应用，新型物联网与基因编辑、分子设计育种等现代生物技术融合构成农业现代化的关键驱动技术，自主可控的北斗高精度导航定位、第五代移动通信（5G）等成为推动智能网联与智能交通融合发展的新型基础设施。

物联网相关产业取得显著进展。物联网作为信息化和工业化融合的切入点，促进了诸多行业信息化、数字化、网络化、智能化的加速应用。随着物联网技术的持续渗透，智能制造、现代农业、智慧电网、智能医疗、智能交通、智慧环保等领域的应用场景不断扩展，初步实现从生产到产品再到服务的转型升级，成为以技术改变生产关系的范例。在应用领域的需求牵引下，不断形成具有专属领域特色的平台应用系统及产业集群。例如，制造领域形成了工业物联网平台，农业领域以种质资源、育种等需求为核心构建了国家农作物种质资源平台，医疗领域形成了以智能器械、远程/移动医疗等为核

心的产业集群，环保领域构建了针对环境管理需求的环境质量管理体系、卫星环境遥感应用系统，能源领域实现了透明电网关键技术与装备的应用突破。

物联网应用实践初见成效。例如，制造领域的工业物联网平台推广应用成效明显，涌现出了离散型智能制造、流程型智能制造等新模式和新业态；农业领域形成了面向政府、科研院所、种业市场等主体的农业物联网应用场景；医疗领域建成了11个“物联网+医疗健康”省级示范区，医疗数据共享水平持续改善，远程医疗县（区）覆盖率达到90%；交通领域建成了国家智能网联汽车（武汉）测试示范区；能源领域完成了粤港澳大湾区电力发展规划及其应用示范；环保领域建立了多层次、多角度、全天候（时）的“天空地一体化”环境监测应用示范。

也需清醒认识到，物联网核心技术受制于人的基本局面尚未得到根本性改变，供应链、产业链协同基础薄弱，应用领域互联互通困难，数据开放共享及隐私保护力度不足等问题仍有显现。除了网络发展范式有待创新、平台体系架构及系统异构集成/优化/智联亟待突破、新型应用软件开发环境的友好性不佳之外，诸多行业融合应用方面的矛盾突出。例如，制造领域供给与市场需求适配性不佳，产业链、供应链稳定性面临挑战，资源环境要素约束趋紧；农业领域中的现代种业底层驱动技术发展不成熟，商业化育种平台尚未普及；能源领域支撑“碳达峰、碳中和”战略目标的新型能源产业生态发展滞后，各类主体之间存在信息、技术、行业管理等方面的壁垒；医疗领域底层软硬件技术的自主性、医疗数据处理的技术成熟度、AI应用技术的临床适用性等需要进一步改善；与器械知识产权、地区协同、服务可持续能源运营等相关的能源领域多源数据共享及服务整合问题较为突出；环保领域新技术在智慧环保中的创新应用与环境保护业务的发展需求不相匹配，环境监测与智能化治理设施的技术研发有待加强。

（二）物联网技术发展趋势

随着物联网技术、新一代AI技术、新一代信息通信技术的发展及其与应用领域专业新技术的不断融合，物联网技术演进快速，呈现以下趋势。①海

量连接产生的交互及数据分析需求，促使物联网与AI更深层次融合并形成人工智能物联网[5]；②以智能传感器为核心的传感技术将深化发展；③物联网芯片向高性能、高可靠、低功耗、低成本方向发展；④模组朝着定制化、多功能方向发展，窄带物联网模组、5G模组成为未来新方向；⑤未来网络发展将在蜂窝通信、局域网技术方面不断迭代，第六代无线网络技术（即WiFi 6，作为局域网满足小区域、高宽带要求）和5G（大连接、高速度，面向大区域）/第六代移动通信（6G）是技术发展重点；⑥发展中的新技术，如元宇宙技术开始影响物联网技术的新发展，将用户与互联网交互的界面从“二维”上升到“三维”，物联网的“升维”将催生新的生产力。

三、智慧物联网系统的内涵与架构

（一）智慧物联网系统的概念内涵

智慧物联网系统（物联网2.0）指，在新发展理念（“创新、协调、绿色、开放、共享”）与新一代AI技术等引领下，“人、信息（赛博）空间与物理空间”融合，“新智慧资源/能力/产品”智慧互联并协同服务的复杂系统；涉及新产品/能力/资源体系、新网络/感知体系、新平台体系、新标准安全体系、新应用体系、新用户体系等六大新体系[3,6~9]。其中，新一代AI技术包括数据驱动下深度强化学习智能、基于网络的群体智能、人机与脑机交互技术为导向的混合智能、跨媒体推理智能、自主智能系统等[10]；智慧物联网系统的“智慧”，指在新发展理念、新一代AI技术等引领下，以人为中心的“人、信息（赛博）空间与物理空间”相互联系、层层递进系统的数字化、物联网化、服务化（云化）、协同化、定制化、柔性化、绿色化、智能化。

智慧物联网系统将具备“新技术、新模式、新业态，新特征、新内容、新目标”，服务于应用领域数字化、网络化、云化、智能化转型升级。①新技术，基于新型互联网，在新发展理念、新一代AI技术等引领下，借助新网络技术、新信息通信技术、新智能科学技术、新能源技术、新材料技术、新生物技术、新绿色技术、新应用领域专业技术等8类新技术深度融合的数字化、网络化、云化、智

能化技术工具，将人、信息（赛博）空间与物理空间中的人/机/物/环境/信息进行智能连接，提供智慧资源、智慧产品、智慧能力的随时随地按需服务。②新模式，以用户为中心、人/机/物/环境/信息优化融合，进行数字化、物联化、服务化（云化）、协同化、定制化、柔性化、绿色化、智能化的智慧协同互联。③新业态，具有万物智联、智能引领、数/模驱动、共享服务、跨界融合、万众创新等特点。④新特征，在全系统及全生命周期活动中，人/机/物/环境/信息“自主智能”地感知、互联、协同、学习、分析、认知、决策、控制、执行。⑤新内容，促使全系统及全生命周期活动中的人、技术/设备、管理、数/模、材料、资金（“六要素”）以及人才流、技术流、管理流、数/模流、物流、资金流（“六流”）的集成优化，形成数字化、网络化、云化、智能化的产品、设备/系统和全生命周期活动。⑥新目标，支持系统数字化转型与智慧化升级，追求创新、绿色、开放、共享、个性。

（二）智慧物联网系统的体系架构

智慧物联网系统的体系架构 [3,6~9]（见图1）包括：新智慧资源/能力/产品层，新智慧感知/接入/通信层，新智慧边缘处理平台层，新智慧系统云端服务平台层，新智慧云服务应用层，新的人/组织。各层具有相应的新标准及新安全管理支撑。

智慧物联网系统的体系架构，特色主要体现在七方面。①边缘/云端协同的新架构；②云计算/AI/大数据/新互联网/建模仿真/数字孪生等为代表的新信息通信技术，与新应用领域技术相融合；③感知/接入/通信层的虚拟化及服务化，采用云网超融合、网络操作系统、新型网络承载架构，实现网络虚拟化、网络控制编排、软件定义网络、云网融合、网络安全组件等功能，提高物联网环境下异构网络资源的利用率、安全性、可靠性；④模型驱动、云原生的新型应用程序（APP）开发环境，突破传统意义上的“开发环境”概念，转向物联网技术支持的开发环境，更适合智慧物联网场景下的应用开发；⑤各层具有新时代的内涵与内容，如以用户为中心的新智能资源/新智能产品/新智能能力/智慧共享服务；⑥物联网体系架构在各应用领

域进行智慧化拓展；⑦人、信息空间、物理空间的深度融合，通过新一代赋能技术与各领域专业技术的交叉应用，构建由人、信息（赛博）空间与物理空间所形成的智能应用系统，以系统持续优化达到人机共生的和谐生态。

四、智慧物联网系统的技术谱系与使能关键技术

（一）智慧物联网系统的技术谱系框架

智慧物联网系统的技术谱系分为整体架构子体系、支撑技术子体系、软件技术子体系、安全技术子体系、标准技术子体系、应用技术子体系 [3,6,7]。①整体架构子体系包括总体技术体系、智慧产品专业技术体系、感知/接入/通信层技术体系、边缘处理平台技术体系、云端平台技术体系、“智慧物联网+”融合应用技术体系等；②支撑技术子体系涵盖新信息通信技术、新智能科学技术、新网络技术、新应用领域专业技术等；③软件技术子体系包括系统软件技术、平台软件技术、新型应用软件技术等；④安全技术子体系涵盖物理安全防护、技术安全防护、管理安全防护、商业安全防护等安全防护技术；⑤标准技术子体系包括基础共性标准、平台/支撑标准、关键技术标准、产品及服务标准、应用标准等；⑥应用技术子体系涵盖智慧工业物联网、智慧农业物联网、智慧能源物联网、智慧医疗物联网、智慧交通物联网、智慧环保物联网等方面的应用技术。

（二）智慧物联网系统的使能关键技术

梳理形成的智慧物联网系统使能关键技术分为共性使能关键技术、应用关键技术两类，涵盖物联网与制造、农业、能源、医疗、交通、环保等领域专业技术深度融合6类应用关键技术。使能技术是智慧物联网系统技术谱系的重要支撑，实现传统产业数字化转型与智能化升级的核心要素。在新发展理念指引下，借助新网络技术、新信息通信技术、新一代AI技术、新能源技术、新材料技术、新生物技术、新绿色技术、新应用领域专业技术等多学科融合新技术的交叉应用，推动智慧物联网系统在各领域技术、产业、应用方面的深入发展。

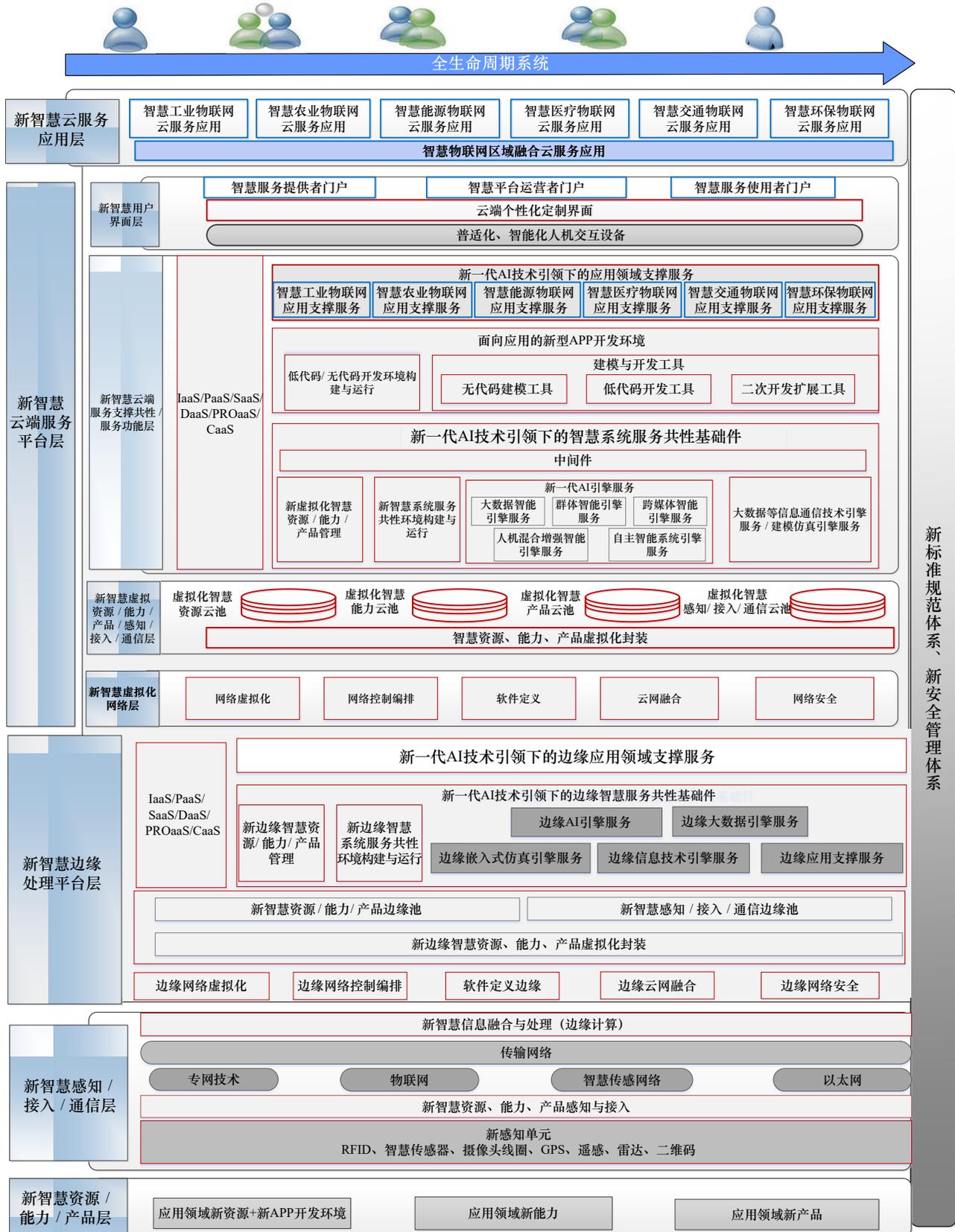


图1 智慧物联网系统的体系架构

注：IaaS表示基础设施及服务；PaaS表示平台即服务；SaaS表示软件即服务；DaaS表示数据即服务；PROaaS表示产品即服务；CaaS表示能力即服务；RFID表示无线射频识别；GPS表示全球定位系统。

1. 共性使能关键技术

智慧物联网系统的共性使能关键技术包括12类技术 [3,6~9]。① 传感技术为智慧物联网系统提供各种形式信息的采集、处理、识别相关使能技术；② 泛在网络技术为智慧物联网系统提供随时随地按需获取信息的传输使能技术；③ 平台技术为智慧物联网系统提供数据、模型、资源等要素的解耦、整合、重构相关使能技术；④ 大数据技术为智慧物联网系统提供全生命周期活动的精准化、高效化、智能化使能技术；⑤ 云服务技术为智慧物联网系统提供信息、资源、能力的存取/共享/协同及智能计算相关使能技术；⑥ AI技术为智慧物联网系统提供人/机/物/环境/信息的智能感知、认知、学习、分析、融合、运算、监控、处理相关使能技术；⑦ 边缘计算技术为智慧物联网系统提供快速端计算使能技术；⑧ 高性能计算技术为智慧物联网系统提供求解复杂问题、开展大规模智能协同相关使能技术；⑨ 系统集成/优化技术为智慧物联网系统提供优化的综合统筹设计使能技术；⑩ 嵌入式建模仿真/数字孪生技术为智慧物联网系统提供基于模型的高效智能研制与运行使能技术；⑪ 标准技术为智慧物联网系统提供技术、产品的相互协调与配合标准化相关使能技术；⑫ 安全技术为智慧物联网系统提供安全使能技术。

2. 应用关键技术

一是智慧工业物联网应用关键技术，分为工业智能、工业AR、工业大数据等。其中，工业智能实现设计模式创新、生产智能决策、资源优化配置等创新应用使能 [11,12]，工业AR将信息转化为图文、三维动画、视频等可视内容，工业大数据使工业系统具备描述、诊断、预测、决策、控制等智能化功能的模式与结果 [13]。

二是智慧农业物联网应用关键技术，包括生命信息传感器技术、表型信息获取技术、表型组数据解析技术、表型组大数据管理及建库技术等。其中，生命信息传感器技术将种子及其繁种/制种环境的信息集合起来，通过信号转化和AI数据处理得到相应的生理及生态信息 [14~17]；表型信息获取技术从海量信息中自动抽取重要表型特征和逻辑关系，实现表型性状自动精准识别 [18]；表型组数据解析技术覆盖从初始数据采集到最终细化分析的

完整过程；表型组大数据管理及建库技术用于对表型数据进行管理、存储和共享。

三是智慧能源物联网应用关键技术，包括电力知识图谱技术、终端智能管控平台及透明电网数据平台技术等。其中，电力知识图谱技术根据图数据结构，将各电力业务的对象信息组成巨大关系网络 [19]；终端智能管控平台及透明电网数据平台技术指通过智能终端为透明电网提供感知功能以及海量的多源异构大数据资产，对智能终端工作状态进行管控 [20]。

四是智慧医疗物联网应用关键技术，包括人体生理与体征传感技术，面向医疗的5G技术、医疗个性化服务技术等。其中，人体生理与体征传感技术通过传感方式全面采集人体生理与体征信号，作为临床诊断与治疗的基础 [21]；面向医疗的5G技术通过5G技术实现人与人、人与物、物与物的海量连接，解决传统低效率通信方式对智慧医疗建设的限制，从而提高医疗服务效率 [22]；医疗个性化服务技术指感知计算、个性化健康管理、行为识别等与人体健康相关的健康物联网技术。

五是智慧交通物联网应用关键技术，包括多源协同高精度定位与感知技术、“北斗+5G”车联网精准控制技术、智能高精度地图等。其中，多源协同高精度定位与感知技术指发挥多种信息源优势以实现精度高、可用性及连续性好的室内外无缝定位导航处理技术；“北斗+5G”车联网精准控制技术提供高阶道路感知、精确导航、远程控制等服务；智能高精地图技术是实现汽车自动驾驶的关键基础设施，构成交通资源全时空实时感知的载体、交通工具全过程运行管控的基础 [23,24]。

六是智慧环保物联网应用关键技术，包括环境大数据技术、智能预警环境大数据挖掘分析技术、环境系统多模超级集合模拟技术等。其中，环保大数据技术面向环境保护与管理决策的应用服务需要，对生态环境数据资源进行高效、有序的组织管理和应用；智能预警环境大数据挖掘分析技术通过数据挖掘方式建立科学的事件模型，在环境监管中发挥空气质量预测预报、环境承载能力监测评估预警等作用 [25]；环境系统多模超级集合模拟技术指单项模型技术与复合模型技术、分析技术相结合，在环境模拟中进行综合应用，强化环境模型与地理信息系统（GIS）的一体化集成应用。

五、智慧物联网系统的典型应用场景与实践案例

(一) 智慧工业物联网系统的代表性应用场景与实践

1. 应用场景

智慧工业物联网在工业领域的代表性应用场景有：① 在研发设计阶段，利用 5G、物联网、AR/VR 技术，实时采集实验现场的画面与数据，生成工业部件、设备、系统、环境等数字模型，实现跨地域在线联合攻关以解决包括异地协同设计在内的各类问题；② 在生产制造阶段，基于数字孪生系统和工业物联网技术，实现多维度的实时监控，利用虚实映射方式开展针对柔性生产制造系统的主动感知、动态优化控制、智能决策；③ 在销售服务阶段，基于 AI 技术建立高精度的预测模型，实现各类预测功能并制定相关销售策略。

2. 实践案例

5G 赋能某工厂智能制造实现生产设备远程监控案例如图 2 所示。原有工厂中的生产任务配合产线频繁调整，网络存在移动设备多、布线复杂、工期长、点检难等劣势以及时延大、不稳定、闪断等问题。在应用 5G 技术改造后的工厂内，实现了工业生产运行状态等数据快速、稳定的收集、回传与分

析，通过仿真生产系统实现全过程数字化；车间设备联网率超过 85%，设备运维效率提升超过 25%。

基于区块链的智能供应链管控案例。新型冠状病毒肺炎（COVID-19）疫情暴发以来，政府、企业对防疫物资的各环节存在信息透明、安全、可追溯的迫切需求。某公司运用区块链技术，开发了区块链防疫物资可信追溯系统，提供了防疫物资上链可视化展示、供需信息审核标注等功能，为企业、管理部门提供了及时可靠的抗疫物资数据，获得社会好评。

(二) 智慧农业物联网系统的代表性应用场景与实践

1. 应用场景

智慧农业物联网的代表性应用场景有：① 面向管理部门的种业监管场景，覆盖种业行业的各项数据，实现品种可追溯、种子质量可追溯、市场主体可追溯、一站式信息查询与业务办理；② 面向科研单位的种质资源管理场景，用于作物种质资源、遗传材料的数字化管理及利用，支持育种资源保管与优良品种选育；③ 面向育种单位的商业化育种场景，搭建各类功能模块，实现育种过程的标准化、程序化、数字化，提供育种选择效率效果、育种数据科学分析等功能；④ 面向育/繁种基地的种业物

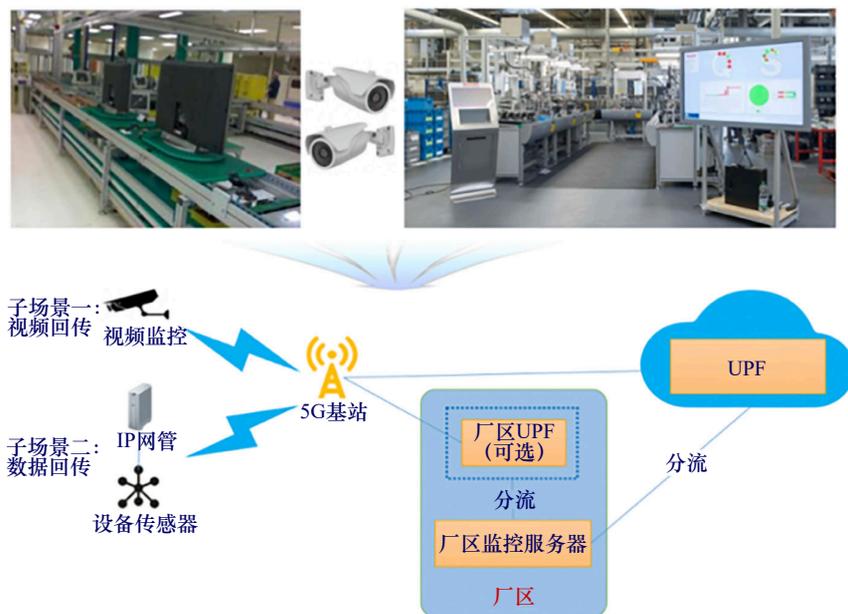


图 2 5G 赋能某工厂智能制造实现生产设备远程监控示意图

注：IP 表示网际互连协议；UPF 表示移动机房。

联网场景，采用传感器网络、视频监控、移动通信等信息技术以及作物表型观测技术，以全过程的自动化、数字化、智能化来实现制种、繁种的提质增效；⑤面向市场的种业社会化服务场景，打通种子等农资行业信息流，提供基于电子交易信息系统的融资与交易服务，最终实现种业社会化服务。

2. 实践案例

农作物种质资源数据库是国家农作物种质资源平台的应用案例。相关平台的服务类型有作物种质信息发布、数据共享服务、科普宣传等。在农作物种质资源数据库建立之后，实现了200种作物、 4.1×10^5 份种质的信息共享，为国家作物种质资源、育种、栽培、植保等方向的科研提供了查询参考服务，向50多个国家级科技项目提供了技术与数据支撑服务。

“金种子育种云平台”案例。作为一体化的商业育种云平台，支持农业结构战略调整，提升农业产业的精准化与信息化水平；集成了计算机、GIS、AI等技术，支持大数据、物联网等信息技术与传统育种技术的融合创新，提供了性状数据采集系统、二维条码种质资源管理系统等商业化育种的信息化解决方案。

（三）智慧能源物联网系统的代表性应用场景与实践

1. 应用场景

智慧能源物联网的代表性应用场景主要是透明电网系统。透明电网以数据为核心，实现电力系统的可见、可知、可控以及状态任意透明；应用云计算、大数据、物联网、移动互联网、AI、区块链等数字技术对传统电网进行数字化改造，发挥数据的生产要素作用，以数据流引领来优化能量流及业务流。

2. 实践案例

在粤港澳大湾区，透明电网智能运维广泛采用小微智能传感器、无线传感器来采集电网数据，发挥小微智能传感器具有的小微化、智能化、低功耗、自取能、自组网、高精度、高可靠性等特点，实现电网信息的全面、及时、可靠感知；构建大规模传感网络，实时地监测电网设备并测量大电网的广域大数据；利用小微智能传感控制器、5G等通信技术，实现边缘计算、自适应控制算法的工程应用；结合机器学习等AI算法，快速汇总、分析、

处理海量数据，实现设备健康、环境状态等的在线实时智能感知，支持故障诊断和运维决策的高效开展，提高电力系统运行的可靠性。

（四）智慧医疗物联网系统的代表性应用场景与实践

1. 应用场景

智慧医疗物联网的代表性应用场景有：①智慧临床场景，通过5G、物联网等技术，实现普通智慧病房的床旁智能交互、专家远程实时诊疗等功能；②智慧就医服务场景，以5G、物联网等技术构建医院院内系统，支持患者自助医疗，提高医院服务水平和管理效率；③健康管理场景，通过AI、物联网等技术，对社区进行全方位慢病管理和疾病筛查，达到预防疾病发生的效果；④智慧医院管理场景，提升智慧医院后勤、医院物资物流管理、医疗废物管理能力。

2. 实践案例

5G远程治疗案例。在COVID-19疫情防控过程中，借助5G技术的高可靠、低时延特性，异地专家或医疗团队远程控制医学诊疗设备，接收治疗现场影像，进行远程会诊，指导现场医护人员进行诊疗或进行手术。某医院远程超声医学中心的专家利用5G网络，通过手柄远程控制异地医院的超声机器人，为患者进行超声检查治疗。

智慧养老平台案例。发展数字化的智慧养老服务平台，汇集民政、卫健、公安、财政等领域的涉老数据，健全老年人基础数据库、养老设施数据库、养老服务组织数据库，实现老年人服务需求评估、服务提供与反馈跟踪、养老机构管理、特殊老年人巡访探视等基本业务的数字化管理。

（五）智慧交通物联网系统的代表性应用场景与实践

1. 应用场景

智慧交通物联网的代表性应用场景有：①智能道路场景，运用物联网、云计算、大数据、AI等信息技术，构建以数据为核心的城市交通信息采集与发布的智慧载体，实现道路交通运行态势自动感知与辨别，为智能汽车实现车路协同提供技术支撑，创造安全、高效、舒适的出行环境及服务；②智能网联汽车场景，搭载先进传感器，运用信息通信、

互联网、云计算等技术，逐步实现自动驾驶功能，催生单车自动驾驶与网联式汽车融为一体的新产品、新模式、新生态。

2. 实践案例

智能道路案例。在车路协同体系中，智能路侧系统通过智能传感器设备并结合智能车载信息，提供危险驾驶提醒、车辆违章预警、道路异常提醒、道路拥堵分析、交叉路口、协调调度等功能。“北斗+5G”赋能自动驾驶基础设施具有自主核心技术和算法，为测试道路提供全天候、全天时、高精度的定位、导航、授时服务，提升自动驾驶与智慧城市融合发展水平。

智能网联汽车案例。未来智能高精地图的应用场景必然是协同感知与协同精密定位技术支撑下的车路协同一体化（见图3）。在“北斗+5G”地基增强或星基增强的支持下，叠加高精地图、惯性导航等技术，满足信号遮挡等复杂场景下智能网联车对厘米级位置、纳秒级精准感知、位置与时间多级精准协同控制的需求。

（六）智慧环保物联网系统的代表性应用场景与实践

1. 应用场景

智慧环保物联网的代表性应用场景有：① 天空地一体化立体监测系统，获取大气环境监测的各类数据资源；② 在水环境监测方面，以流域控制单元为基础，获取卫星遥感、无人船、监测子站等监测手段的数据，建立立体且精细化的流域单元监测功能；③ 精准治霾立体监测系统，集成卫星遥感、高空视频、无人机等技术，全面采集空气质量和污染源数据，通过环境大数据、多元模型分析，快速诊断污染排放趋势，支持空气质量动态调控。

2. 实践案例

城市大气污染网格智能监测监管平台案例。建立了大气污染网格智能监测监管平台，集成气象数据、污染源、各站（微站、市控站、省控站、国控站）、雷达、走航车、无人机、手持设备、视频设备等的多样化监测数据，实现多渠道数据融合及联动分析；构建天地空一体化大气热点监测体系，准确反应区域内大气污染的变化情况，结合预警、预报、上报机制，形成对污染区域的网格化管控。

城市立体监测与大数据平台案例。构建“精确

预报—精确分析—精准施策—精细评估”的二次污染协同防治技术体系，通过在线监测预警网来精准预报污染过程；采用快速识别技术与快速量化解析技术，识别污染类型、热点区域以及污染成因；依据总量控制量化技术及相关识别技术进行精准施策，动态总量核算及监管技术进行精细评估。

六、我国智慧物联网系统发展建议

为适应新时代、新态势、新征程，物联网的发展正从物联网1.0迈上了物联网2.0阶段——智慧物联网系统。智慧物联网作为新型数字基础设施的重要组成部分，与5G、大数据、云计算、AI、区块链、数字孪生等技术深度融合与群体突破，保持能力快速演进，将推动数字经济快速发展，发挥对数字经济放大、叠加、倍增等作用。一方面，利用融合的新技术来赋能并驱动企业的生产方式、运营模式、管理体系等的数字化转型与智能化升级，支持产品创新、用户服务等核心业务的数字化、网络化、智能化，从而显著提升企业的市场竞争力；另一方

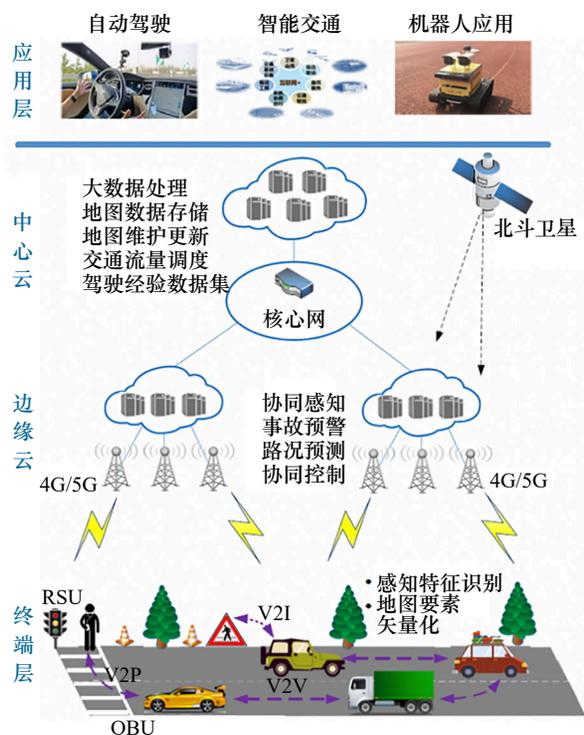


图3 智能网联汽车示意图

注：4G表示第四代移动通信；RSU表示路侧单元；V2I表示车辆-基础设施互联；V2V表示车辆-车辆互联；V2P表示车辆-行人互联；OBU表示车载单元。

面,提供智慧物联网新的技术、产品、服务、基础设施,形成适应新时代的一类战略性新兴产业,进而对经济社会发展起到放大、叠加、倍增效应。

在需求牵引、技术推动下,智慧物联网系统的模式、技术、业态还将持续发展。①注重“政产学研金用”结合的技术创新体系建设,加强跨学科、跨领域协作机制以形成统筹协调生态;②注重培养各领域复合型人才,特别是物联网技术与信息通信技术、应用领域专业技术融合的人才;③注重全球/国家/地方多层级的物联网新型基础设施等数字基础设施建设;④注重全球/国家/地方的政策及资源支持;⑤注重实现“技术、应用、产业”的协调发展(具体阐述如下)。

在技术研究方面,建议7个“重视”。①重视新一代AI技术的引领作用,以5G、新一代AI、云计算、大数据、区块链、数字孪生、现代建模仿真等为代表的信息通信技术与新应用领域专业技术的深度融合,驱动智慧物联网系统的技术体系及平台进行持续创新;②重视发展如智能感知技术、未来网络技术、新型通信技术等核心关键技术;③重视开展智慧物联网系统应用领域的新模式、新流程、新技术手段、新业态研究,覆盖相关应用领域全生命周期活动的各个阶段;④重视物联网应用数据库、算法库、模型库、平台、计算能力等基础能力的研究与建设;⑤重视智慧物联网商业模式研究;⑥重视物联网安全技术、评估体系研究;⑦重视未来技术与生态发展,特别是融入正在快速发展中的元宇宙理念及技术[26,27],驱动诸多领域在全生命周期活动中降低成本、提高效率、保持绿色/柔性,强化智慧物联网系统的数字孪生能力,实现智慧物联网系统的转型升级。

在产业发展方面,建议5个“加强”。①加强云原生平台、低代码/无代码应用开发环境及工具集等产品,重点提升嵌入式工业软件及集成开发环境、面向细分行业的集成化工业软件平台,吸引更多企业共建服务型生态;②加强面向智慧物联网的高端传感器、物联网芯片、嵌入式物联网操作系统等智能产品,推动物联网产业生态向高端演进,构建国产化网络控制器和操作系统并推进网络设备的国产化和白盒化;③加强基于隐私计算、分布式泛在计算,构建以健康医疗数据与技术共享平台为代表的一系列国家级数据平台,形成数据资产、数据

要素等的可信、隐私保护能力;④加强知识软件化、架构开源化、软件云化,形成自主可控的新型“物联网+”开发环境与应用生态;⑤加强与元宇宙有关的产业发展。

在应用实践方面,建议5个“突出”。①突出行业、企业特点;②突出问题导向、价值导向的模式技术与业态变革;③突出智慧物联网系统“六要素”“六流”的综合集成优化与智慧化;④突出以系统工程理念为实施原则;⑤突出各类应用示范,如构建云边协同应用平台,面向应用领域且通用性良好的自主可控开源嵌入式操作系统,网络与AR/VR、4K/8K业务的联合应用,基于自主可控开发环境的产业链协同研发应用,元宇宙有关的应用等。

致谢

感谢陈左宁、李立涅、李兰娟、刘经南、刘文清、刘韵洁、孙家广、孙九林、赵春江等院士以及马晨、刘江、刘英博、阳林、李莹莹、李潭、杨靖文、陈芊好、林廷宇、侯宝存、高柯夫、蔡泽祥、魏巍等专家对本研究的支持与贡献。

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: March 16, 2022; **Revised date:** May 8, 2022

Corresponding author: Liu Yang is a senior engineer from CASI Cloud-Tech Co., Ltd. Her major research fields include intelligent manufacturing and machine vision. E-mail: airuosi0626@163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of the New Internet Plus Action Plan under the New Era and New Situation” (2021-XZ-24)

参考文献

- [1] 习近平. 把握新发展阶段,贯彻新发展理念,构建新发展格局[J]. 求是, 2021(9): 4-18.
Xi J P. Understanding the new development stage, applying the new development philosophy, and creating a new development dynamic [J]. Qiushi, 2021(9): 4-18.
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 深入贯彻新发展理念 加快构建新发展格局[J]. 求是, 2021(9): 35-39.
National Development and Reform Commission. Fully implementing the new development philosophy and accelerating efforts to foster a new development [J]. Qiushi, 2021(9): 35-39.
- [3] 李伯虎,柴旭东,侯宝存,等. 云制造系统3.0——一种“智能+”时代的新智能制造系统[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(12): 2997-3012.
Li B H, Chai X D, Hou B C, et al. Cloud manufacturing system 3.0: A new intelligent manufacturing system in the era of “Intelligence+” [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(12): 2997-3012.
- [4] 新时代、新态势下新型“互联网+”行动计划发展战略研究项目组. 新时代、新态势下新型“互联网+”行动计划发展战略研究

- 究 [R]. 北京: 新时代、新态势下新型“互联网+”行动计划发展战略研究项目组, 2022.
- Project Group of New “Internet +” Action Plan Development Strategy Research under New Era and New Situation. Research on the development strategy of the new “Internet +” action plan in the new era and new situation [R]. Beijing: Project Group of New “Internet +” Action Plan Development Strategy Research under New Era and New Situation, 2022.
- [5] 上海艾瑞市场咨询股份有限公司. 2021 年中国物联网云平台发展研究报告 [EB/OL]. (2021-08-30)[2022-04-04]. <https://report.iresearch.cn/report/202108/3834.shtml>.
Shanghai iResearch Consulting Group. 2021 China's IoT cloud platform report [EB/OL]. (2021-08-30) [2022-04-04]. <https://report.iresearch.cn/report/202108/3834.shtml>.
- [6] 李伯虎, 柴旭东, 刘阳, 等. 工业环境下信息通信类技术赋能智能制造研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(2): 75–85.
Li B H, Chai X D, Liu Y, et al. Intelligent manufacturing enabled by information and communication technology in industrial environment [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2): 75–85.
- [7] 李伯虎, 柴旭东, 侯宝存, 等. 智慧工业互联网 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
Li B H, Chai X D, Hou B C, et al. Smart industrial Internet [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2021.
- [8] 李伯虎, 陈左宁, 柴旭东, 等. “智能+”时代新“互联网+”行动总体发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(4): 1–9.
Li B H, Chen Z N, Chai X D, et al. Overall development of the Internet Plus initiative against the backdrop of Intelligence Plus [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(4): 1–9.
- [9] 陈左宁, 李伯虎, 柴旭东, 等. “互联网+”行动计划总体发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 1–8.
Chen Z N, Li B H, Chai X D, et al. The overall development strategy research of “Internet plus” action plan [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(2): 1–8.
- [10] Wu F, Lu C W, Zhu M J, et al. Towards a new generation of artificial intelligence in China [J]. Nature Machine Intelligence, 2020 (2): 312–316.
- [11] 李杰, 李响, 许元铭, 等. 工业人工智能及应用研究现状及展望 [J]. 自动化学报, 2020, 46(10): 2031–2044.
Li J, Li X, Xu Y M, et al. Recent advances and prospects in industrial AI and applications [J]. ACTA AUTOMATICA SINICA, 2020, 46(10): 2031–2044.
- [12] 柴天佑. 工业人工智能发展方向 [J]. 自动化学报, 2020, 46(10): 2005–2012.
Chai T Y. Development directions of industrial artificial intelligence [J]. ACTA AUTOMATICA SINICA, 2020, 46(10): 2003–2012.
- [13] 姚锡凡, 雷毅, 葛动元, 等. 驱动制造业从“互联网+”走向“人工智能+”的大数据之道 [J]. 中国机械工程, 2019, 30(2): 134–142.
Yao X F, Lei Y, Ge D Y, et al. On big data driving manufacturing from “Internet plus” to “AI plus” [J]. China Mechanical Engineering, 2019, 30(2): 134–142.
- [14] 边黎明, 张慧春. 表型技术在林木育种和精确林业上的应用 [J]. 林业科学, 2020, 56(6): 113–126.
Bian L M, Zhang H C. Application of phenotyping techniques in forest tree breeding and precision forestry [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2020, 56(6): 113–126.
- [15] 唐珂. 国外农业物联网技术发展及对我国的启示 [J]. 中国科学院院刊, 2013, 28(6): 700–707.
Tang K. Technology development of agricultural Internet of things in foreign countries and its inspiration to China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2013, 28(6): 700–707.
- [16] 邱兆美, 张昆, 毛鹏军. 我国植物生理传感器的研究现状 [J]. 农机化研究, 2013, 35(8): 236–240.
Qiu Z M, Zhang K, Mao P J. Research on the plant physiological sensor in China [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(8): 236–240.
- [17] 彭汉良, 倪军, 陈可. 农业传感器发展态势研究 [J]. 江苏农机化, 2021 (4): 25–27.
Peng H G, Ni J, Chen K. Research on the development situation of agricultural sensors [J]. Jiangsu Agricultural Mechanization, 2021 (4): 25–27.
- [18] 周静静, 郭新宇, 吴升, 等. 基于多视角图像的植物三维重建研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(2): 9–18.
Zhou J J, Guo X Y, Wu S, et al. Research progress on plant three-dimensional reconstruction based on multi-view images [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(2): 9–18.
- [19] 闪鑫, 陆晓, 翟明玉, 等. 人工智能应用于电网调控的关键技术分析 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43(1): 49–57.
Shan X, Lu X, Zhai M Y, et al. Analysis of key technologies for artificial intelligence applied to power grid dispatch and control [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(1): 49–57.
- [20] 蔡勇. 数据挖掘技术在电网运营监控平台建设中的研究与应用 [D]. 上海: 上海交通大学(硕士学位论文), 2012.
Cai Y. Research and application of data mining technology in grid operational monitoring platform [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University(Master's thesis), 2012.
- [21] 谈溥川, 赵超超, 樊瑜波, 等. 自驱动柔性生物医学传感器的研究进展 [J]. 物理学报, 2020, 69(17): 137–148.
Tan P C, Zhao C C, Fan Y B, et al. Research progress of self-actuated flexible biomedical sensors [J]. ACTA PHYSICA SINICA, 2020, 69(17): 137–148.
- [22] 5G 应用产业方阵, 中国信息通信研究院. 疫情防控中的 5G 应用研究报告 [EB/OL]. (2020-03-11)[2022-03-20]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202003/P020200311790818975227.pdf>.
5G Application Industry Array, China Academy of Information and Communications Technology. Research report on 5G application in epidemic prevention and control [EB/OL]. (2020-03-11) [2022-03-20]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202003/P020200311790818975227.pdf>.
- [23] 刘经南, 吴杭彬, 郭迟, 等. 高精度道路导航地图的进展与思考 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 99–105.
Liu J N, Wu H B, Guo C, et al. Progress and consideration of high precision road navigation map [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(2): 99–105.
- [24] 刘经南, 詹骄, 郭迟, 等. 智能高精地图数据逻辑结构与关键技术 [J]. 测绘学报, 2019, 48(8): 939–953.
Liu J N, Zhan J, Guo C, et al. Data logic structure and key technologies on intelligent high-precision map [J]. ACTA GEODAEITICA ET CARTOGRAPHICA SINICA, 2019, 48(8): 939–953.
- [25] 赵苗苗, 赵师成, 张丽云, 等. 大数据在生态环境领域的应用进展与展望 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1727–1734.
Zhao M M, Zhao S C, Zhang L Y, et al. Applications of environmental big data: Progress and prospect [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1727–1734.
- [26] 王文喜, 周芳, 万月亮, 等. 元宇宙技术综述 [J]. 工程科学学报, 2022, 44(4): 744–756.
Wang W X, Zhou F, Wan Y L, et al. A survey of metaverse technology [J]. Chinese Journal of Engineering, 2022, 44(4): 744–756.
- [27] 孙柏林. 元宇宙初探 [J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(6): 1–5.
Sun B L. On the metaverse [J]. Techniques of Automation and Applications, 2022, 41(6): 1–5.