

10-20-2022

Trend Observation Development Trend and Hotspot of Internet of Things in Digital Economy Era

Recommended Citation

(2022) "Trend Observation Development Trend and Hotspot of Internet of Things in Digital Economy Era," *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*: Vol. 37 : 18.

DOI: <https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20220224001>

Available at: <https://bulletinofcas.researchcommons.org/journal/vol37/iss10/18>

This Information & Observation is brought to you for free and open access by Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). It has been accepted for inclusion in Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version) by an authorized editor of Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). For more information, please contact lcyang@cashq.ac.cn, yjwen@cashq.ac.cn.

Trend Observation Development Trend and Hotspot of Internet of Things in Digital Economy Era

趋势观察：

数字经济背景下 物联网发展态势与热点*

随着经济社会数字化转型和智能升级步伐加快，物联网正在加速虚拟世界和物理世界的融合，从赋能传统产业转型升级、推动数字产业发展两个方面助力打造数字经济新优势。在数据方面，分布在世界各地的物联网设备将产生海量数据。在赋能传统产业转型升级方面，工业 4.0/5.0 加速了物联网驱动的产业转型，物联网在工业领域的应用包括世界经济论坛确定的一批“灯塔工厂”进行的前瞻应用部署（工艺优化、制造业质量管理、废物和水管理等）^①，其在农业领域的应用包括农作物种植、鱼菜共生、森林保护、家畜养殖等所需的环境因素监控、农产品追踪溯源、机械智能化、精准农业、智能温室等^②。在数字产业方面，边缘设备产生的大量数据需要融合人工智能、边缘计算等技术进行实时处理，推动新兴数字产业升级迭代。鉴于物联网在数字经济中的关键角色，本文重点分析其发展态势与热点，以期对物联网驱动的数字化转型提供参考。

物联网概念自 1999 年提出以来，其内涵不断扩

展和升级，电气与电子工程师协会（IEEE）和国际电信联盟（ITU）等国际组织给出的定义普遍受到业界的认可。欧盟在它们的基础上，认为物联网是具有能够感知和控制（sensing and actuation）、可连接（connectivity）、能够提供情报（intelligence）、异构（heterogeneity）、动态（dynamicity）、可扩展（scalability）、安全（security）等属性的系统。我国将物联网视为以感知技术和网络通信技术为主要手段，实现人、机、物的泛在连接，提供信息感知、信息传输、信息处理等服务的基础设施。其不仅涉及各种极具影响力的应用领域，如从医疗和农业到工业和休闲，还与其他技术的进步息息相关，如云计算、人工智能、人机交互、大数据与分析、量子计算、第五代移动通信技术（5G）等。

1 数字经济背景下物联网发展总体态势

（1）物联网发展迅速，其产生的数据、释放的经济价值正在快速增长。近 5 年（2017—2021 年），

* 本文由中国科学院文献情报中心战略前沿科技团队撰稿，执笔人：于杰平、王丽。

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20220224001

修改稿收到日期：2022 年 9 月 21 日

① World Economic Forum. Global lighthouse network: Unlocking sustainability through fourth industrial evolution technologies. (2021-09-27)[2022-04-01]. <https://www.weforum.org/whitepapers/global-lighthouse-network-unlocking-sustainability-through-4ir>.

② Elijah O, Rahman T A, Orikumhi I, et al. An overview of internet of things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5(5): 3758-3773.

全球物联网研究论文总量增长了近4倍，从13 786篇增长到69 915篇，年均复合增长率达38%。全球物联网总连接数量将从2019年的120亿个增加到2025年的246亿个，同时其将从消费物联网连接主导向产业物联网连接主导转变，产业物联网连接数量将在2025年占半数以上^③。不久的将来，物联网将超越数字平台成为数据收集的主要方式，分布在世界各地的物联网连接设备产生的数据将从2019年的18.3 ZB增加到2025年的73.1 ZB^④。全球物联网收入将从2019年的3 430亿美元增长到2025年的11 230亿美元^③，到2025年其在亚太、北美、欧洲地区的收入占比将接近90%^④。

(2) 物联网作为产业数字化转型中的粘合剂正在加速数字经济的“两化”（产业数字化、数字产业化）发展。5G、边缘计算、人工智能等技术的进步提升了物联网对行业应用的支撑能力，进而加快产业数字化转型的步伐。例如，不断增强的网络技术驱动了远程医疗、智能办公、远程资产监控、定位服务等方面发展，促进了物联网的行业渗透。新冠肺炎疫情加速了行业需求倒逼物联网支撑能力提升，从而加快推动数字产业化。例如，共享制造、数字消费、智能化物流、企业实现远程管理迫切需要物联网与5G、边缘/云计算、人工智能、区块链、大数据、互联网协议第6版（IPv6）等技术深度融合。

(3) 物联网推动数字经济发展的潜力释放仍需解决互操作性、成本、安全、变革管理等方面面临的阻力。互操作性面临的挑战是物联网生态碎片化问题，物联网技术栈呈现明显的“筒仓”“围墙花园”特征。低成本是物联网实现规模化应用的关键，但互操作性低的挑战直接推高了物联网规模化应用的设备集成和连接等部署成本，同时终端、网络更换升

级也是成本高的主要因素。安全是物联网快速发展过程中需要关注的重点问题，例如网络入侵、攻击、数据泄露等威胁国家安全和人类生命财产安全。企业和政府在推动物联网发展时往往重视技术本身，而忽略了管理和运营模式的转型。

2 数字经济背景下主要经济体关于物联网的战略举措与特点

2008年后，为了促进科技发展，寻找经济新的增长点，各国政府开始重视下一代信息技术规划，物联网成为了新增长点的不二选择。美国、欧盟、日本、韩国、中国等经济体都将物联网发展上升为国家发展战略。近几年，以科技创新为核心的国际竞争日趋激烈，气候变化、新冠肺炎疫情全球大流行、自然灾害等成为全球性挑战。新冠肺炎疫情加速了国际社会的变化，促使人类活动向居家办公、网上教育等生活方式转变，物联网需求旺盛，世界主要经济体根据自身优势或短板开启了新一波物联网战略部署。

(1) 美国：重视前瞻布局，对物联网安全的重视程度达到新高度。美国是物联网技术的先行者，从射频识别技术的应用到“智慧地球”发展理念被升级为国家物联网的发展战略，再到美国国家制造创新网络“智能制造研究所”的成立、《保障物联网安全战略原则》的出台，以及《促进物联网的发展》绿皮书发布，无不体现美国对物联网的高度重视及前瞻布局。近年，物联网成为美国特朗普和拜登两届政府重视的驱动未来产业发展的关键技术之一，持续得到国家战略层面的大力支持，这在特朗普政府2020年签署的《2022财年研发预算优先事项及交叉行动》备忘录，拜登政府2021年提出的《美国就业计划》和通过的《无尽前沿法案》（后更名为《美国创新与竞争

^③ GSMA Intelligence. Mobile economy 2020. (2020-03)[2022-02-24]. https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf.

^④ UNCTAD. Digital economy report 2021. (2021-09-29)[2022-02-24]. <https://unctad.org/webflyer/digital-economy-report-2021>.

法》)中均有体现。此外,美国国会调查发现物联网发展迅速,参议院2020年1月通过《促进物联网创新和发展法案》,要求美国商务部牵头组建联邦物联网工作组,美国联邦通信委员会(FCC)与美国国家电信和信息管理局(NTIA)评估物联网频谱资源。美国商务部根据《国防授权法案2021》及《联邦咨询委员会法》修正案于2021年12月特设物联网咨询委员会。美国对物联网安全的重视程度不言而喻,自13800号总统行政令《加强联邦网络和关键基础设施的网络安全》颁布,NTIA、国家标准与技术研究所(NIST)展开对物联网安全的全面研究。2020年3月,美国时任总统特朗普签署《5G与后5G安全法案》。几经波折,2020年12月《物联网网络安全改进法》被特朗普正式签署为法律。2021年11月,NIST正式发布《联邦政府物联网设备网络安全指南》(SP 800-213)并随附《物联网设备网络安全需求目录》(SP 800-213A)。

(2) 欧盟:瞄准边缘计算,推进物联网朝“智能、通用、可信、开放”方向发展。2014—2020年,欧盟将物联网视为实现“数字单一市场战略”的关键技术,“由外及内”打造开环物联网。欧盟先后在2015年成立“物联网联盟(AIOTI)”、2016年启动“物联网欧洲平台倡议(IOT-EPI)”和物联网大规模试点计划,以及2018年启动解决物联网安全和隐私问题的一组项目。“地平线2020”在2014—2020年为物联网相关的研究、创新和部署提供了近5亿欧元资助^⑤。随着全球数字化进程不断提速,欧盟已开启下一代物联网的规划和布局。一方面,欧盟认为物联网和边缘计算为其迎来了重大机遇,近年出台的“关键数字战略和政策”与“物联网和边缘计算”紧密相连。例如,2020年欧盟发布《欧洲数据战略》,明确

提出在2021—2027年资助开发通用欧洲数据空间和互连云基础设施,强调抓住边缘计算、5G和物联网带来的新机遇。2021年欧盟发布《2030数字指南针:欧洲数字十年之路》,计划到2030年部署1万个(2020年为0个)能够实现气候中和且高度安全的边缘节点,75%(2020年为26%)的欧洲企业采用云计算服务^⑥。另一方面,欧盟2020年9月举办关于“物联网和边缘计算”的研讨会,开启了下一代物联网的战略讨论。欧盟2021年又举办多轮“物联网和边缘计算”战略研讨会,并最终于2022年1月发布《欧盟物联网研究、创新和部署优先事项白皮书》。这也是欧洲最新的物联网路线图,研发创新优先事项及综合战略重点涉及人-物交互(数字孪生、增强物联网、触觉互联网)、可持续物联网、数据互操作性、共享和货币化、云技术(边缘计算)、分布式机器学习、物联网安全与信任、物联网标准、开放创新等。

(3) 日本:以实现“社会5.0”为目标,重安全、强技术。日本物联网的发展经历了“e-Japan”“u-Japan”“i-Japan”战略阶段。近年,日本物联网的发展主要得益于实现“社会5.0”目标的牵引。在“社会5.0”中,物联网将联通所有人和物,分享各类知识和信息,克服信息不对称带来的挑战和困难。鉴于“社会5.0”时代物理空间和网络空间的高度联通,日本政府高度重视物联网安全的系统规划和推进,如日本经济产业省(METI)2020年11月发布《物联网安全框架》。“第2期战略性创新推进计划(SIP)”资助的项目中,物联网及相关技术成为重中之重,涉及通用平台、低功耗芯片、安全等。日本虽然率先提出“社会5.0”,但却在实践中落后,尤其是在新冠肺炎疫情应对中暴露出数字化转型迟缓。鉴于此,近年来日本开始加码核心关键技术创新,物联

^⑤ NGIoT. Roadmap for IoT research, innovation and deployment in Europe 2021-2027. (2022-01-12)[2022-02-24]. <https://www.ngiot.eu/ngiot-report-a-roadmap-for-iot-in-europe>.

^⑥ European Commission. 2030 digital compass: The European way for the digital decade. (2021-03-09)[2022-02-24]. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-digital-compass-2030_en.pdf.

网及迫切需要与之深度融合的技术一马当先。《第六期科学技术创新基本计划》将网络和物理空间融合视为实现“社会5.0”的必要条件之一，提出建设和开发下一代基础设施和技术，如“后5G”、超算、半导体等。《半导体数字产业战略》^⑦加大数字领域投资，强化对自动驾驶、工厂自动化、智能城市等应用场景进行逻辑半导体设计与研发。“后5G信息通信系统基础强化计划”持续实施，大力资助边缘计算、先进半导体制造技术等。

（4）韩国：着力物联网与5G、人工智能等技术的深度融合，逐步向“超链接社会”迈进。韩国2014年发布的《物联网基本规划》就已提出“引领超链接数字革命”（A leading country in hyper-connected digital revolution）的战略远景。近年，韩国以5G为主线，融合人工智能，以期通过智能物联网引领“数字新政”。韩国2019年4月成为全球首个实现5G商用化的国家，并发布“‘5G+’战略”。2021年8月发布“‘5G+’融合服务扩散战略”，将通过继续推进智能工厂、自动驾驶汽车、沉浸式内容、数字医疗、智慧城市五大核心服务的试点为“5G+”融合服务奠定基础。随着物联网连接数的指数级增长和人工智能的发展，智能物联网已经进入自主发展阶段^⑧，需要具有自主思考和自主控制能力。2022年1月，韩国发布“数字新政2.0”行动计划，计划投入9万亿韩元加速韩国各经济领域的数字化转型^⑨，其中0.5万亿韩元用于推进非接触基础设施建设（如线上教育、线上医疗和智能急救、智能商店等），0.8万亿韩元用于发展超链接产业（如元宇宙平台、融合技术应用试点、跨部门大规模区块链技术、

智能物联网）。2022年1月，韩国呼吁制定“下一代网络发展战略”，包含6G通信技术、卫星网络、物联网等。

（5）中国：将物联网视为新基建的重要组成部分，推动物联网全面发展。我国物联网的战略部署与美国、欧盟、日本、韩国等基本同步，“感知中国”的提出，《“十二五”物联网发展规划》《物联网“十三五”规划》等系列政策文件的出台都体现了我国政府对物联网的高度重视。迈入“十四五”，物联网已经成为新型基础设施的重要组成部分，迎来发展的关键期。党中央、国务院高度重视物联网新型基础设施建设发展，党的十九届五中全会提出“系统布局新型基础设施”；国家“十四五”规划纲要提出推动物联网全面发展，将物联网纳入七大数字经济重点产业。工业和信息化部等8部门共同印发《物联网新型基础设施建设三年行动计划（2021—2023年）》，把“创新能力提升行动”放在4项重点任务之首，并从突破关键核心技术（如智能感知、新型短距离通信、高精度定位等关键共性技术）、推动技术融合创新（如5G+物联网、大数据+物联网、人工智能+物联网、区块链+物联网）、构建协同创新机制3个方面进行了部署安排。工业和信息化部发布《物联网基础安全标准体系建设指南（2021版）》，提出到2022年，初步建立物联网基础安全标准体系。

3 数字经济背景下物联网发展的重点领域态势与热点

随着5G、边缘计算、人工智能等技术的发展，物联网发展迈入新的发展阶段，世界主要经济体从战略

^⑦ 张丽娟,刘亚坤.日本制定《半导体数字产业战略》.科技中国,2021(10):101-103.

^⑧ Ministry of Science and ICT. AIoT, bridging the present and the future for better everyday life. (2021-10-19)[2022-02-24]. <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=546>.

^⑨ Ministry of Science and ICT. Korea's digital new deal 2.0 action plan 2022. (2022-01-26)[2022-02-24]. <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=626>.

布局、路线图制定、安全立法等多举措助力物联网发展，云技术、边缘计算、智能物联网、元宇宙（数字孪生）、安全研究和监管等成为当下或未来一定时期的重点和热点。

（1）云技术仍是实现可扩展和自主物联网基础设施的关键，边缘计算初现燎原之势，云-边协同发展成为主趋势。物联网发展迅速，对实时数据收集、处理、分析和决策的需求日益增长，迫切需要边缘计算来解燃眉之急。边缘计算为物联网带来的安全、延迟、成本、效率和扩展性方面的优势不言而喻，云技术仍是实现可扩展和自主物联网基础设施的关键，例如云原生方法可以在分布式场景中有效工作。近3年，美国高德纳咨询公司（Gartner）发布的年度技术趋势分别将边缘赋能和分布式云（2020年）、分布式云（2021年）、云原生平台（2022年）列入其中。云-边协同发展未来的重要研究方向包括边缘计算自我修复、自我扩展等能力实现，能源感知云-边基础设施建设，云-边集中式编排向协同编排转变，用于边缘计算服务器的大容量、高带宽内存模块，以及先进逻辑芯片技术设计与开发。

（2）人工智能与物联网（AIoT）深度融合势不可挡，AIoT发展驶入“快车道”。物联网是一项帮助人们重新构想日常生活的技术，而人工智能是物联网充分发挥潜力的驱动力，如智能穿戴、智慧家居、智慧城市、智慧工厂等应用耳熟能详^⑩。产业AIoT将在4个方面驱动因素下快速增长：①可用于制造业的AIoT软件工具越来越多；②人工智能解决方案开发和维护简化^⑪；③人工智能日益嵌入软硬件中用于

功能升级；④产业AIoT硬件性能正在迅速提升^⑫。AIoT未来重要的研究方向包括：MLOps和分布式机器学习/人工智能管道，轻量级机器学习/人工智能，从联邦机器学习到群体学习，物联网解决方案的可信和有效决策，智能传感器，低功耗和高性能半导体芯片，从5G到6G等。

（3）随着物联网技术的成熟，元宇宙成为热点，二者在某种程度上是共生关系^⑬。业界尚无对元宇宙的明确定义，但物联网作为现实世界和虚拟世界的桥梁是元宇宙的基础设施，这在业界已有共识。物联网可为元宇宙提供感知、连接和传输设备等。元宇宙对物联网将产生重要影响，尤其与数字孪生的使用相关，如增强现实世界极端情况培训，提供更好、更智能的长期规划和短期响应。在交互方面，模糊物理和数字世界界限的元宇宙式体验不仅可以通过扩展现实（XR）设备提供，还可以通过物联网设备提供，如环境传感器、智能穿戴、嵌入AIoT的车辆和机器人。在计算方面，5G和智能边缘/AIoT的大规模部署将加速元宇宙用例的交付如智能运输管理^⑭、远程现场维护和交货等。在信息方面，元宇宙重点集中在消费者和企业环境中交互体验的设计改进需求，这将继续驱动物联网对专业信息处理技术的需求。

（4）物联网安全问题日益多样和复杂，物联网安全研究更加重要，物联网安全监管更趋强制性。边缘/智能设备的规模化部署，物联网设备数量的激增相应地增加了网络攻击的脆弱性，数据泄露和黑客攻击已司空见惯，消费者、企业和政府越来越重视物联网安全。为应对物联网安全挑战，需要优先考虑将物联网

⑩ World Economic Forum. 4 key areas where AI and IoT are being combined. (2021-03-15)[2022-02-24]. <https://www.weforum.org/agenda/2021/03/ai-is-fusing-with-the-internet-of-things-to-create-new-technology-innovations>.

⑪ 如自动机器学习标准化、机器学习操作（MLOps）简化模型管理和维护。

⑫ IOT ANALYTICS. The rise of industrial AI and AIoT: 4 trends driving technology adoption. (2021-12-02)[2022-02-24]. <https://iot-analytics.com/rise-of-industrial-ai-aiot-4-trends-driving-technology-adoption>.

⑬ What's the biggest effect the metaverse will have on IoT, or vice versa? (2022-01-25)[2022-02-24]. <https://www.protocol.com/braintrust/metaverse-effects-internet-of-things?rebelltitem=20#rebelltitem20>.

⑭ 增强现实（AR）+人工智能+三维数字孪生+运营管理。

安全嵌入到物联网产品和服务设计中，在部署试点或概念验证时不能忽略或妥协安全性的问题。今后，物联网安全研究的重要方向包括：人工智能驱动的网络安全研究^⑮，云-边时代数据的可追溯性和可信性^⑯，物联网设备隐私设计^⑰，物联网服务的安全和隐私设计^⑱。近年，物联网安全监管逐渐由自愿性向强制性发展，如英国2018年发布《消费物联网安全实践准则》，2020年启动消费连接产品网络安全立法意见咨询，并于2021年4月回应，主张通过完善立法确保消费物联网设备安全。此外，美国《物联网网络安全改进法》已经生效，日本修正法律允许政府部门侵入物联网设备，欧盟《无线电设备指令授权法案》保障无线设备安全。

4 数字经济背景下物联网发展建议

(1) 提高对物联网安全的重视程度。物联网发展之迅速、蕴含的潜力，以及对数字经济发展的推动作用显而易见，然而随之带来的安全问题也愈发凸显，例如设备和软件漏洞、标准和协议匮乏、缺乏安全控制和系统化安全设计等。因此，我国相关政策制定中需要着重考虑5点因素：① 确定物联网安全发展的优先事项，如物联网设备的实时监控和分级监管，以充分发挥监控和监管的安全杠杆作用；② 监管机构应协同整个物联网生态系统中的利益攸关方推进并制定确保物联网安全和隐私的标准，以创造有助于释放物联网价值的环境，同时保护消费者隐私；③ 鉴于供应商

缺乏实现互操作性的动力，政策制定者可以采取监管行动直接要求或通过政府采购间接要求供应商考虑互操作性；④ 在促进技术创新的前提下，将风险防控前置置于研发；⑤ 我国现有物联网相关政策虽有提及安全要求，但较难推动贯彻落实，国家着手启动专门性立法工作迫在眉睫。

(2) 摸底和评估物联网技术发展现状，制定中长期物联网发展路线图，掌握物联网发展的战略主动权。总体来看，我国物联网相关政策部署处于国际“并跑”，整个物联网发展也正与世界同行。哪些优势方向具有积极的溢出效应，哪些短板方向受制于人，哪些关键共性技术有待突破，哪些未来方向需要抢先布局，只有从千头万绪中理清它们的内在联系，优先次序，方能对症下药。例如，物联网自主解决方案（大型物联网和数字基础设施、自主物联网基础设施），人物交互（数字孪生、增强物联网、触觉互联网），可靠、低成本、可持续、可扩展的物联网网络（5G、6G），云技术（云原生、边缘计算），智能物联网，物联网安全研究，能源问题探索，这些方向均是物联网领域目前或未来的重点研究方向。我国在物联网软件和硬件方面均存在长期受制于人的困扰，亟待开展开源软件、先进半导体制造等方面的关键核心技术攻关。RISC-V开放指令为打破X86和ARM生态垄断提供了重大机遇，集成电路核心器件、先进光刻技术、SoC和存算一体芯片、神经形态计算等为先进半导体技术创新突破指明了方向。

■ 责任编辑：文彦杰

⑮ 如学习新的攻击模式并自主反推解决方案。

⑯ 如区块链、混合方法（分类账本+分布式哈希表）。

⑰ 如片上加密解决方案、软硬件集成安全功能、防篡改功能。

⑱ 安全架构开发、数据隐私保护的智能方法。