

第 1 章 物联网概论

★ 学习指导

- 📁 学时建议：理论 2 学时，实验/实践 0 学时，自学 1 学时。
- 📁 教学目标：使学生能够解释数字经济的涉及范围和地位、我国物联网标准概念模型和体系结构等；能够描述世界物联网发展整体历史和现状；能够说出我国物联网产业、工业 4.0 和数字经济之间的区别与联系，以及关于物联网感知、网络传输、智能化信息处理和网络安全方面的典型技术；能够写出物联网的体系结构、技术特征、关键技术；能够列举我国数字经济、物联网、工业互联网等领域的相关政策；能够描述物联网在各行各业被广泛应用的情况，以及如何提升生产效率和生活质量、促进国家经济增长和科技进步。
- 📁 主要内容：数字经济的涉及范围和地位，物联网的发展背景、定义、国内外现状，物联网产业产生背景，工业互联网的概念和地位，物联网安全特征，我国物联网概念模型，物联网国家标准体系结构，典型物联网体系结构与技术特征，物联网各层关键技术，物联网典型应用案例。
- 📁 重点难点：数字经济的内涵和地位、物联网的定义、工业互联网的概念、物联网安全特征、我国物联网概念模型、物联网国家标准体系结构、物联网各层关键技术、物联网典型应用案例。

数字经济作为我国深入贯彻国家数字经济发展战略、促进经济转型升级和高质量发展的国家政策，其内涵极其丰富。它不仅包括利用数据实现引导、优化配备及再生资源，还包括促进和推动社会生产力高质量发展的新经济、新业态、新产业。从技术层面上看，数字经济包括人工智能（Artificial Intelligence, AI）、大数据（Big Data）、物联网（Internet of Things, IoT）、云计算（Cloud Computing）、工业互联网（Industrial Internet）、区块链（Block Chain）、工业 4.0（Industry 4.0）、5G 通信等新兴技术。而受到国家大力扶持，围绕 5G 网络、大数据中心、工业互联网等进行的新基础设施建设（简称“新基建”），本质上就是以新科技、新产业为核心的数字经济建设，目前已经成为拉动我国经济快速增长的新引擎，所催生的各种新业态也成为我国经济的新增长点。

在数字经济中，物联网技术也已经在各个行业领域得到了应用。随着工业 4.0、工业互联

网、物联网安全、工控安全及芯片安全等“卡脖子”问题得到重视，我国科技发展进入一个前所未有的特殊时期，具有自主知识产权的高新技术与国产化推进工作提升了我国科技发展的战略地位，重要科技领域及技术发展日新月异。

1.1 物联网背景

1.1.1 物联网的理解

国内外普遍认为，“物联网”的早期概念是在 1999 年由 MIT Auto-ID 中心 Ashton 教授在研究 RFID 技术时提出来的。现如今，物联网已经成为一个重要研究领域，物联网相关行业的发展也越来越成熟，已经成为计算机类技术发展的重要组成部分。通过智能感知与识别、可靠传输、服务支撑、数据处理及智能决策、数据安全、应用安全、普适计算、泛在网络等技术的融合与综合应用，物联网曾被认为是信息产业发展的“第三次浪潮”。

物联网可简单理解为“物”与“物”相连的互联网，它不仅是“万物”之间互联互通的一种网络规范，还对现存的互联网应用进行了扩展和延伸，其信息交换和通信不再限于“人”，而是扩展到任何物体与物体之间。在物联网发展过程中，对其的定义和理解也随着技术发展而不断更新和完善。

比尔·盖茨曾于 1995 年提及物联网，因受限于当时技术条件而未受到重视，直至 Ashton 教授基于 RFID 技术提出物联网概念时才引起人们的关注。2005 年，《ITU 互联网报告 2005：物联网》发布，正式提出物联网概念，本报告中物联网的定义是：从生物到非生物相连，网络无所不在，并且通过 RFID 技术、传感器、嵌入式技术等物联网核心技术与主流的互联网、通信网络融合。由该定义可以看出，与 RFID 技术相比，物联网的概念已经有了新的发展。

2009 年 9 月，欧盟对物联网概念进行了更加详细且清晰的解释。欧盟认为，物联网是以全球动态网络设施为基础，提供物理世界与虚拟世界相统一的智能接口，实现虚拟与现实中信息网络无缝整合的自组织网络。物联网是构成未来互联网的技术之一。

我国于 2009 年将物联网正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一，并写入政府工作报告，物联网受到的关注程度超过欧美国家。

经过多次演变，我国对物联网的定义已达成基本共识：物联网是一个“万物”互联、以互联网为基础进行延伸和扩展的网络，它将各种感知物理世界的设备通过互联网连接起来，实现不受时间、地点、人、物、方式的互联互通，实现智能化识别、定位、跟踪、监控、处理、管理和决策功能。

1.1.2 物联网发展现状

从出现到发展至今，物联网技术经历了由概念提出到实际应用的过程，相关技术已经日趋成熟。物联网技术发展先后经历了不同阶段，而每个阶段都各有其典型特征，如以传感器等感知技术为典型特征的感知阶段，以云计算、大数据、智能硬件、人工智能等智能处理技

术为典型特征的智能应用阶段等。在不断发展与创新中，物联网技术得到了快速融合，实现了技术层面的巨大飞跃。

1. 国外发展状况

目前，国外物联网发展较好，主要集中在西方国家，技术应用已逐步拓展到环境监测等领域。针对物联网技术的巨大应用潜力，各国纷纷采取不同政策、措施来推动物联网的发展。

1) 欧盟

欧盟委员会（也叫作欧盟执委会，是欧洲联盟唯一有权起草法令的常设执行机构）始终希望主导物联网，并于2009年提出《物联网——欧洲行动计划》（*Internet of Things—An action plan for Europe*）；2015年3月，欧盟委员会推动成立了“物联网创新联盟（Alliance for Internet of Things Innovation）”，旨在推动各方合作共同打造欧洲物联网生态系统。2015年5月，欧盟通过了单一数字市场（Digital Single Market），旨在引领欧洲物联网的加速发展。2015年10月，欧盟正式开展物联网重点研究和大规模试点计划征求提案，范围涉及可穿戴设备、智能照护、智慧交通、智慧城市、智慧农业和水资源管理等领域，总预算为1亿欧元。由此可以看出，欧盟非常重视物联网技术及物联网生态的发展。

2) 美国

2009年1月，IBM与美国智库共同向美国政府提交关于利用信息通信技术（ICT）投资来实现短期内提高就业率的报告。具体而言，美国政府只要新增约800亿美元的ICT投资（包括能源、宽带、医疗3个领域），便可以为民众创造出94.9万个就业机会，如表1-1所示。

表 1-1 2009 年美国振兴经济法案中与 ICT 相关的计划

投资领域	具体项目
能源 (约 500 亿美元)	<ul style="list-style-type: none"> 以信息技术改善能源效率 电力系统：智能电网 建筑：住宅节能化、建筑物能源使用管理系统 建设现代化公共基础设施
宽带 (72 亿美元)	<ul style="list-style-type: none"> 宽带技术机会计划（Broadband Technology Opportunities Program）：以农村及宽带服务欠缺地区为首要对象，重点支持学校、图书馆、医院、大学等组织，创造就业机会，扩充公共计算机中心的容量 乡村公共服务计划（Rural Utilities Service Program）：提供宽带基础建设的贷款，尤其是在需要高速宽带服务的农村地区，为当地电信公司、移动运营商宽带基础建设提供贷款服务
医疗 (约 190 亿美元)	<ul style="list-style-type: none"> 加速健康信息技术的推广 加强个人隐私权的保障

在奥巴马就任总统后，奥巴马政府希望从能源、科技、医疗、教育等方面着手，通过政府投资、减税等措施来改善经济、增加就业机会，同时带动美国长期发展。其中，鼓励物联网技术发展的政策主要体现在推动能源、宽带与医疗三大领域开展物联网技术的应用。

2015年，美国电话电报公司 AT&T 将车联网、物联网业务当成未来业务增长点，并于2016年第一季度新增120万个连接设备，其中包括100万台汽车；Google提出Project IoT（物联网计划），于2015年发布源于Android的物联网底层操作系统Brillo，其支持ARM、X86、

MIPS 架构的智能硬件；2016 年，美国思科公司为了完善物联网生态体系，斥资 14 亿美元收购 Jasper 全部股权；2016 年 11 月，美国发布《保障物联网安全的战略原则》，美国国土安全部要求物联网制造商必须在产品设计阶段就考虑安全设计，否则可能会被起诉。

3) 韩国

自 1997 年起，韩国政府出台了一系列推动国家信息化建设的产业政策，如 2009 年的《物联网基础设施构建基本规划》，其目标是构建世界先进的物联网基础设施，研究、开发物联网新技术。

2011 年 5 月，韩国联合多个部门计划在 2014 年之前向物联网、云计算领域投入 6146 亿韩元（约合 36.88 亿元人民币）；2014 年 5 月，韩国出台《物联网基本规划》，提出“超联数字革命领先国家”的战略远景计划，并培养一批能主导物联网服务与创新产品的中坚企业。2016 年，韩国成为全世界物联网设备普及率最高的国家，市场规模达到 53 000 亿韩元（约合 324 亿元人民币）。

4) 日本

20 世纪 90 年代以来，日本政府连续提出 u-Japan、i-Japan 物联网发展战略。此外，日本政府部门等公共事业机构还投入大量资金进行物联网技术研发。2015 年，日本发布中长期信息技术战略发展计划《i-Japan 战略 2015》，建设以人为本的数字化社会，成立物联网推进联盟；2016 年，日本通过物联网技术改进火力发电厂的设备管理，并确定改造后的设备于 2017 年投入使用。

2. 国内发展状况

为了赶超第三轮世界信息产业浪潮，我国政府高度重视物联网技术研发和产业化工作。在“感知中国”的概念提出后，国务院于 2010 年 10 月发布了《关于加快培养和发展战略性新兴产业的决定》，并明确将物联网列为我国战略发展新兴产业之一。此后，国务院又连续推出多个文件推动物联网产业发展。2017 年，工业和信息化部发布《物联网发展规划（2016—2020 年）》，提出到 2020 年基本形成具有国际竞争力的物联网产业体系；2018 年 6 月，工业和信息化部发布《工业和信息化部办公厅关于开展 2018 年物联网集成创新与融合应用项目征集工作的通知》，征集物联网重点应用领域、物联网关键技术和服务保障建设等项目；2018 年年底，中央经济工作会议明确了 5G、人工智能、工业互联网、物联网等“新型基础设施”建设的定位；2019 年，《工业和信息化部关于开展 2019 年 IPv6 网络就绪专项行动的通知》明确提出，要持续推进 IPv6 的部署及应用，为物联网的快速发展预留充足的地址空间；2020 年 4 月，工业和信息化部办公厅发布《关于深入推进移动物联网全面发展的通知》，提出到 2020 年年底，县级以上城市主城区要全面覆盖 NB-IoT 网络，移动物联网连接数达到 12 亿，打造一批 NB-IoT 应用标杆工程和 NB-IoT 百万级连接规模应用场景。

2021 年 9 月，工业和信息化部等八部门联合发布《物联网新型基础设施建设三年行动计划（2021—2023 年）》，明确提出要提升创新能力，培育产业生态，融合发展应用，优化支撑体系；2021 年 11 月，工业和信息化部发布《“十四五”信息通信行业发展规划》，提出 5 项重点任务，其中包括全面部署 5G、千兆光纤网络、IPv6、移动物联网、卫星通信网络等新一代通信网络设施，积极发展工业互联网和车联网等，发展新基建。

与此同时，国内高校也正积极迅速地开展物联网方面的研究。例如，2009年9月，北京邮电大学与作为“感知中国”中心的无锡市就传感器网络技术和产业发展签署合作协议，形成物联网技术研究、成果转化和产业化推广的产学研结合路线。2009年12月8日，重庆邮电大学和无锡物联网产业研究院签署合作协议，共同研究物联网技术，共同制定我国物联网标准，推进物联网人才培养。此外，南京航空航天大学、西北工业大学等也加快了物联网技术研究。截止到目前，全国获批物联网工程本科专业的院校已有560多所，物联网在我国发展日新月异。

此外，国际电信联盟（ITU）于2020年7月9日做出决议，正式批准NB-IoT为5G标准，物联网加速器再添动力。而工业和信息化部在其发布的物联网十三五规划中提到，要加快发展NB-IoT等低功耗广域网技术。截止到2020年2月底，国内三大运营商的NB-IoT连接数突破1亿。2020年4月，阿里云宣布未来三年再投2000亿美元，用于云操作系统、服务器、芯片、网络等重大核心技术研发攻坚和面向未来的数据中心建设。2020年12月16日上午，华为正式发布了HarmonyOS 2.0手机开发者Beta版本。Harmony OS拥有跨终端的能力，可以大大提高效率。

现如今物联网技术已经与社会发展紧密关联，并且在各个领域得到了广泛应用，如智能家居、智慧城市、智慧医疗、智慧交通、智能电网等，我国社会正在逐步实现“万物互联”。

1.2 物联网发展趋势

目前，物联网技术正处于与人工智能融合发展的过程中，而物联网的应用也存着诸多新的技术挑战，物联网安全问题、大数据处理问题、物联网对环境的影响问题等正在挑战物联网的应用潜力和发展能力。但是，随着人类技术的不断进步，这些问题自然会逐步得到解决，物联网的快速发展和全面应用不可阻挡。

1.2.1 物联网产业规模

互联网数据中心（Internet Data Center, IDC）发布的《2021年V2全球物联网支出指南》预测，全球物联网支出在2025年达到12 000亿美元；其中，我国市场规模将在2025年超过3000亿美元，全球占比约26.1%，随着我国“新基建”的实施，工业互联网、车联网、智慧城市、智慧医疗等前景空间非常大，预计未来几年物联网市场规模占比还会提高。全球移动通信系统协会（GSMA）预测，2025年全球物联网设备（包括蜂窝及非蜂窝）联网数量将达到约246亿个，“万物互联”将成为全球网络未来发展的重要方向。

1.2.2 物联网与人工智能

在物联网、云计算、大数据、新产业等快速发展的形势下，人工智能与各个学科领域的深度融合是大势所趋，人工智能已成为未来战略技术之一。

而人工智能技术与物联网技术的结合（简称 AIoT）提升了二者的战略地位。大量物联网节点的管控，以及大量信息数据的采集和传输，尤其是物联网应用层的大数据计算及智能决策，都需要采用人工智能技术进行数据融合、智能处理，这也造就了物联网的个体智能向群体智能方向演进。

中国台湾的研华科技与美国的高通公司也在 2021 年布局 AIoT。2021 年 6 月，高通公司发布了多款人工智能和 IoT 芯片组，如集成了 5G、Wi-Fi 和人工智能的 Qualcomm QCS8250 芯片组。根据 IoT Analytics（物联网、人工智能、云计算和工业 4.0 等方面市场调研和商业战略研究的供应商，总部位于德国）在 2021 年 11 月发布的市场报告，到 2026 年，全球工业 AIoT 市场预计将达到 1020 亿美元。

由此可见，物联网技术和人工智能技术的结合变得越来越重要，物联网巨大的市场规模与人工智能不可替代的技术将为企业带来巨大的市场潜力。由技术和市场培育出来的新需求不仅会促进二者的融合与落地，而且会促进物联网技术和人工智能技术的有机结合。

1.2.3 工业 4.0

“工业 4.0”（Industry 4.0）概念最早由德国提出，并在 2013 年 4 月的汉诺威工业博览会上通过发布《实施“工业 4.0”战略建议书》正式推出。该领域随后被德国政府列入《德国 2020 高技术战略》中，用来提升德国工业的国际竞争力，旨在在“第四次工业革命”中抢先占领技术制高点。

前三次工业革命（分别以蒸汽机、电气化和信息化为特征）可理解为工业 1.0~3.0，而“工业 4.0”则被理解为以智能制造为特征的“第四次工业革命”，即通过深度融合信息通信技术和网络空间虚拟技术系统——信息物理系统（Cyber-Physical System, CPS）实现制造业的“智能制造”，其本质是打通制造业数据流通与共享壁垒，优化企业生产规模和效益，构建出可定制化、异构化的制造业模式，进而促进产业结构改革。

“工业 4.0”可对生产过程中涉及的材料供应、产品设计、生产制造、产品销售进行信息化和智慧化的管理，最终建立一套能够快速组织生产、销售效益高且服务质量有保障的高度灵活、过程数字化的生产模式。“工业 4.0”获得德国联邦教研部与联邦经济技术部联手资助，同时上升为德国国家级战略，德国联邦政府为此投入高达 2 亿欧元。

“工业 4.0”项目主要包括以下三部分。

- （1）智慧工厂，重点研究企业生产过程及生产系统的网络化、分布式和智能化。
- （2）智慧生产，重点研究企业生产过程的物资管理、人机交互、数字孪生技术，整合各类大、中、小企业，研发新一代智能化生产技术并确定技术的引导者和受益者。
- （3）智慧物流，重点研究如何利用互联网、物联网、各物流系统进行物流资源智慧化管理，最大化提高物流工作效率，为制造业提供最佳匹配服务。

在商业模式方面，“工业 4.0”能够催生出消费者驱动的商业模式，提高产、销之间的匹配度，促进“互联网+制造业”的智能化、商业化新模式。

1.2.4 工业互联网

制造业是经济发展的重要支撑，而“第四次工业革命”涉及世界经济、国家创新体系、产业结构调整与竞争、企业生存与发展，更是工业制造业在云计算、物联网、大数据、人工智能等信息技术突飞猛进过程中的必然走向。其中，工业互联网是“第四次工业革命”的关键支撑和创新战略。

在实体经济与虚拟经济、制造业与服务业关系的影响下，美国通用电气公司（GE）率先意识到数字化转型的重要性，其研发部门最早于2012年提出工业互联网（Industrial Internet）的概念，认为工业互联网就是“从机器上捕获数据，并将有价值的思想反馈给客户”，帮助客户优化资产和提高运营效率。

对此的简单理解是：工业互联网将新一代信息技术与制造业深度融合，通过建立产品、生产线、供应商、客户和销售商之间的互联互通，实行网络化、数字化和智能化的跨行业、跨产业链的集成系统，最终提升生产效率、降低生产成本。

我国的工业互联网可以理解为“互联网+工业”，实质是将工业设施、物联网、大数据应用到生产过程中，实现数字化、网络化和智能化，搭建融合互联网与工业创新的云平台，构建产业生态，实现产品的个性化生产。

同样作为全球产业升级和强国战略发展，我国工业互联网较“工业4.0”内涵更加丰富，覆盖领域更多。工业互联网产业呈现中高速增长，有力支撑经济发展。

我国将工业互联网与5G结合起来，利用5G技术的低时延、高速率等特点，快速提升工业互联网的发展速度，推进我国制造业的升级，形成“5G+工业互联网”的先导建设模式。从总体产业来看，我国已初步形成工业互联网的产业体系，部分传统产业领域已具备一定的市场竞争力，各领域骨干企业正在加快向工业互联网转型和拓展。以工业互联网创新为突破点，以智能制造为主攻方向，以打造“产业大脑”和“智慧工厂”为核心的全国制造业数字化发展的新局面正在形成。

1.2.5 物联网安全威胁

物联网的工作环境复杂多样。从感知层到应用层，其中不仅涉及传输数据安全、网络安全问题，还涉及新的网络安全威胁，而且暴露在无线环境下的信息更容易被恶意捕获。工业互联网的出现，使得物联网安全得到更为广泛的重视。

1. 物联网感知层的安全问题

物联网要实现“万物互联”，就需要大量传感器实时采集数据。而在采集过程中，各传感器要面临潜在的自身物理安全（可能丢失、破坏、假冒等）、协议安全、能量供应安全（如电池电量耗尽、恶意断电）等问题，而恶劣的物理环境可能导致上述问题更加严重。随着边缘计算安全的提出，物联网终端安全问题的解决变得更加紧迫，在攻击者容易接触到终端设备的情况下，找到既不影响设备的正常使用又能够解决设备安全问题的最优方法或方案是当务之急。

2. 物联网网络层的安全问题

物联网的网络环境复杂，物联网网络层面临的安全风险更高。同时，由于不同架构的网络需要互联互通，各类网络技术（如计算机网络、蓝牙、Wi-Fi、4G、5G 等）的综合使用，以及安全认证、设备访问控制、异构数据安全检测等方面都面临巨大的安全挑战。综合主要情况，可以认为：物联网网络层面临的主要安全问题有拒绝服务攻击（Denial of Service, DoS）、假冒攻击、中间人攻击和协议攻击等。此外，物联网中的异构数据严重降低了数据安全的可检测性，不同环境中网络带宽的不理想与大量数据传输需求之间存在矛盾，都可能造成现有安全机制和技术难以适应的现象，物联网网络层的安全问题的解决道路较长。

3. 物联网应用层的安全问题

物联网应用层与具体业务相关性较大，数据中心和计算中心的安全性往往更高。但是，复杂、庞大且多样化的物联网平台需要一个统一的安全管理平台来降低安全管理成本，提高安全性，但物联网平台在现实中很难实现这一点。物联网应用层主要面临的安全问题有数据安全、用户隐私安全、安全溯源、数字取证、渗透攻击、数据库安全等。

1.3 物联网体系结构

1.3.1 体系结构概述

物联网涉及多个学科，技术面广，那么如何构建物联网体系结构来描述一个物联网系统各部分之间的关系呢？目前，多个国际标准化组织及技术联盟提出了各自的物联网参考体系，如 ISO/IEC JTC1/WG10、ITU SG20、IEEE P2413、IIC、IoT-A、OneM2M 等。各个体系结构从不同角度进行描述，如机器对机器通信（Machine to Machine, M2M）角度、泛在网角度、互联网角度、传感网角度、移动网角度等。因此，对物联网体系结构的描述形式始终无法统一。现以 ITU-T 在 2005 年进行泛在网的研究时提出的物联网体系结构为例进行介绍，如图 1-1 所示。

ITU-T 提出的模型将物联网体系结构分为传感网、中间件和应用层三部分。与目前的物联网技术发展情况相比，该模型的描述能力显然不够，但对于物联网体系结构初期研究具有较高的参考价值。

此外，欧洲电信标准组织（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）专门成立了一个专项小组（M2M TC）从 M2M 的角度进行总体架构方面的研究。电气电子工程师学会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）则注重对物联网感知层的研究，如 ZigBee 技术就基于 IEEE 802.15.4 标准。当然，还有其他组织也在研究物联网体系结构，本书不一一列举。

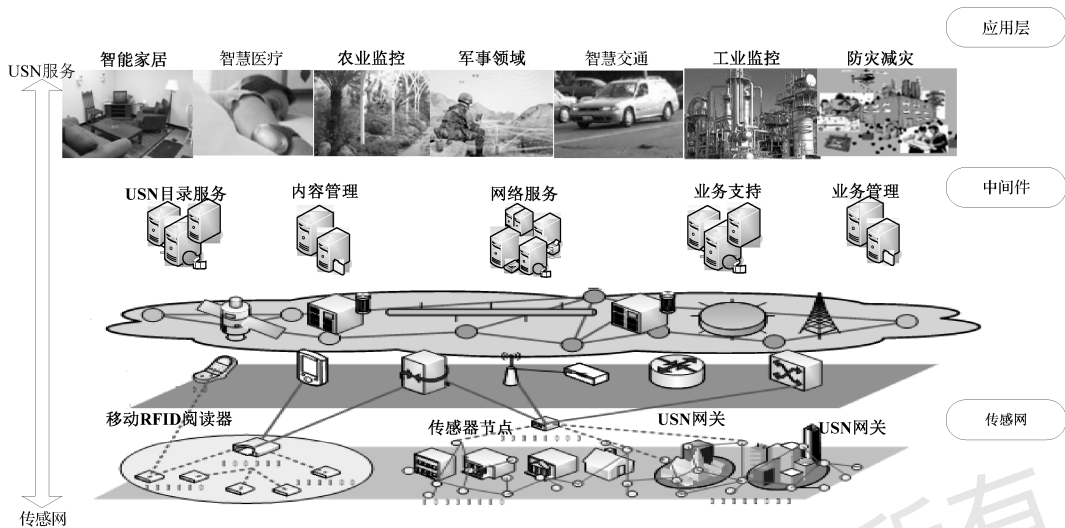


图 1-1 ITU-T 提出的物联网体系结构

1.3.2 我国物联网体系结构

在物联网体系结构的研究方面，我国于 2016 年 12 月 30 日发布国家标准 GB/T 33474—2016，该标准对物联网体系结构进行了中国式定义和设计，于 2017 年 7 月 1 日正式实施。

1. 物联网概念模型

为便于理解物联网用户需求，设计物联网系统功能，同时考虑物联网生态体系建设，GB/T 33474—2016 标准采用递进和分开的思路进行模型设计，根据不同类别的物联网应用系统抽象出物联网概念模型，如图 1-2 所示。

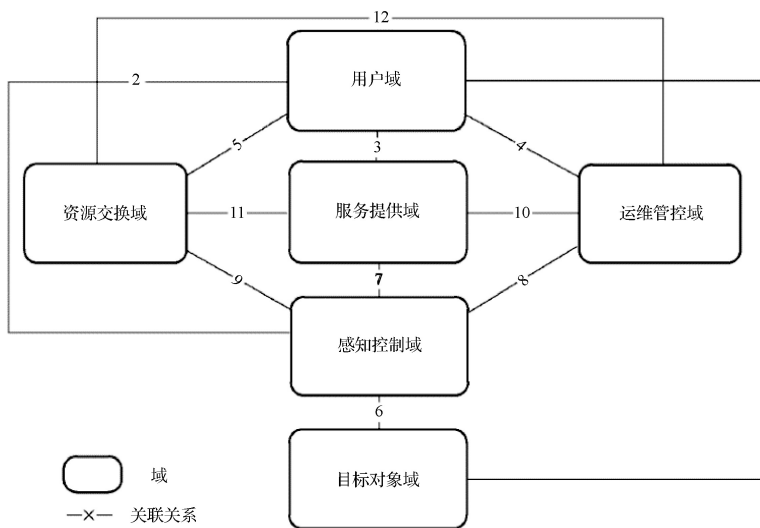


图 1-2 物联网概念模型

该物联网概念模型中包含了 6 个域，各域的描述如下。

1) 用户域

用户域是物联网用户和用户系统的实体集合，用户通过系统及其他域的实体来感知物理世界对象的信息，并进行操控。

2) 目标对象域

目标对象域是用户期望感知相关信息或执行相关操控的对象实体集合。它包括用户期望感知信息的对象和用户期望执行操控的对象，二者可与感知控制域中的其他实体（如传感器网络系统、标签识别系统、智能化设备接口系统等）进行通信传输数据，绑定物理世界与虚拟世界之间的接口。

3) 感知控制域

感知控制域是用于感知对象信息与操控被控制对象的软/硬件系统实体集合，可实现物理世界中感知信息的本地化协同和操控，并对外提供远程管理和服务的接口。

4) 服务提供域

服务提供域是实现物联网的基础服务与业务服务方面的软/硬件系统实体集合。也就是说，服务提供域可以对相关数据进行感知、传输、加工、处理和协同，为用户提供感知和操控服务的接口。

5) 运维管控域

运维管控域是实现物联网的运行、维护、法律要求的监管功能的软/硬件系统实体集合，可保障物联网的设备安全、系统安全、可靠运行、系统中实体行为符合法律等。

6) 资源交换域

资源交换域是实现物联网系统内外之间信息共享与交换，以及信息和服务集中交易的软/硬件系统实体集合，可获取外部信息资源或对外提供信息资源，以及保障物联网系统的信息流、服务流、资金流交换。

2. 物联网系统参考体系结构

本参考体系结构以物联网概念模型为基础，按从上到下的思想从系统顶层架构开始设计，如图 1-3 所示。

该模型有利于分解系统功能，保证不同物联网应用系统之间的兼容性、互操作性和资源共享性。在使用本参考体系结构进行项目开发时，项目设计者可根据实际需求对参考体系结构中的业务功能域和实体进行全部或部分选用、组合、拆分，也可以补充未涉及的相关业务功能域或实体。各个域包含的实体的描述如下。

1) 用户系统

用户系统是支撑物联网用户接入物联网系统、使用物联网服务的接口系统。从物联网用户角度总体来划分，用户系统可包括政府用户系统、企业用户系统、公众用户系统等。

2) 物联网网关

物联网网关是支撑感知控制系统与其他系统互联、实现感知控制域本地管理的实体。物联网网关能够提供协议转换、地址映射、数据处理、信息融合、安全认证、设备管理等功能，它可以集成到其他设备中或独立作为设备。

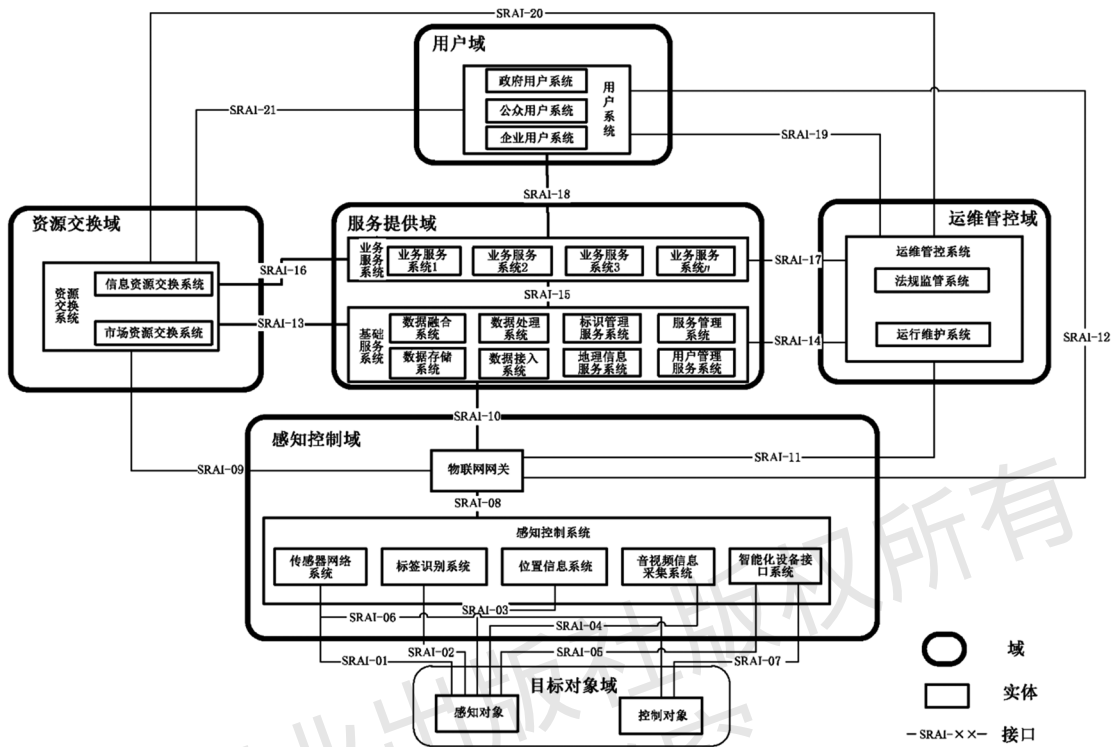


图 1-3 物联网系统参考体系结构

3) 感知控制系统

感知控制系统通过对关联对象进行信息感知和执行控制操作，能够进行本地协同信息处理和融合。感知控制系统包括传感器网络系统、标签识别系统、位置信息系统、音视频信息采集系统和智能化设备接口系统等。

4) 基础服务系统

基础服务系统提供物联网的基础支撑服务系统，保障正常提供各类业务服务。它包括数据接入系统、数据处理系统、数据融合系统、数据存储系统、标识管理服务系统、地理信息服务系统、用户管理服务系统、服务管理系统等。

5) 业务服务系统

业务服务系统是为特定用户提供物联网业务服务的系统。它提供对象信息统计查询、分析对比、告警、预警、操作控制、协调联动等功能。

6) 运维管控系统

运维管控系统能够管理和保障物联网中设备和系统安全可靠运行并符合相关法律法规，可分为运行维护系统和法规监管系统。运行维护系统提供系统接入管理、系统安全认证管理、系统运行管理、系统维护管理等功能；法规监管系统提供相关法律法规查询、监督、执行等功能。

7) 资源交换系统

资源交换系统能够完成物联网系统内外之间信息资源共享与交换、系统信息和服务集中

交易，根据功能可分为信息资源交换系统和市场资源交换系统。信息资源交换系统是为满足特定用户服务需求来获取外部系统的必要信息资源，或为外部系统提供系统间的信息资源交换和共享服务的系统。市场资源交换系统是为了有效提供物联网应用服务，实现物联网相关信息流、服务流和资金流交换的系统。

该模型中提供了 21 个系统参考体系结构接口（System Reference Architecture Interface, SRAI），限于篇幅，本节不予详细介绍，感兴趣的读者可参阅国家标准 GB/T 33474—2016。

3. 面向 Web 开放服务的物联网系统参考架构

由于物联网在发展过程中信息“碎片化”和“孤岛化”现象严重，我国于 2022 年 5 月 1 日开始实施国家标准 GB/T 40778.1—2021，以实现各物联网系统之间数据的流通，达到“物物互联”的目的。该国家标准适用于面向 Web 开放服务的物联网系统顶层设计，如图 1-4 所示。

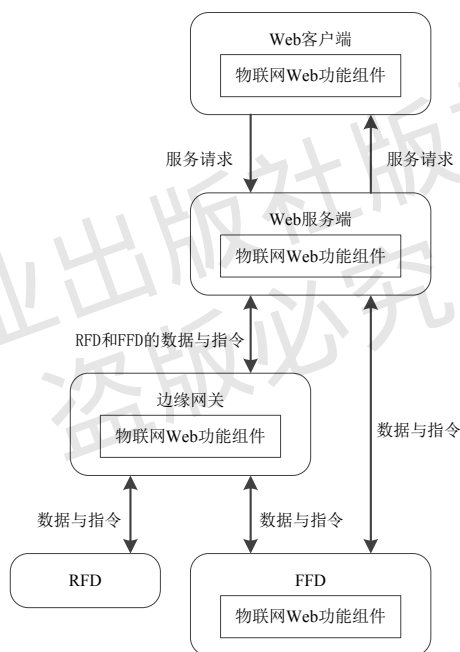


图 1-4 面向 Web 开放服务的物联网系统顶层设计

其中，各部分描述如下。

(1) RFD（Reduced-Function Device，受限功能设备）因自身功能受到限制而本身不安装各类组件，需要借助边缘网关与 Web 服务器实现数据传输功能。

(2) FFD（Full-Function Device，全功能设备）不受自身功能限制，可以通过本身安装的 Web 功能组件与边缘网关及 Web 服务器实现数据传输功能。

(3) 边缘网关是部署在网络边缘的网关设备，可与 RFD、FFD 及 Web 服务器实现数据传输功能。

(4) Web 客户端主要指 Web 浏览器（Browser）。其主要功能是将用户向服务器请求的 Web 资源呈现出来，显示在浏览器窗口中。

(5) Web 服务端是使用 HTTP（超文本传输协议）和其他协议来响应通过万维网发出的

Web 客户端请求的软件和硬件。

物联网 Web 功能组件如图 1-5 所示。

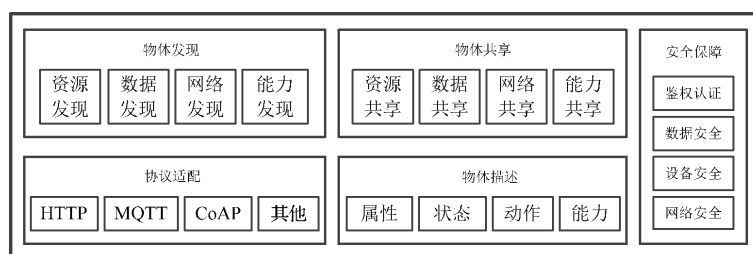


图 1-5 物联网 Web 功能组件

4. 典型物联网体系结构

物联网作为一种复杂系统，涵盖的技术涉及很多领域。从物联网的提出到目前发展来看，比较常见的物联网体系结构分为感知层、网络层和应用层，如图 1-6 所示。



图 1-6 典型物联网体系结构

后期业界研究人员在三层结构的基础上进行了细化和扩展，提出了细化后的物联网体系结构，如图 1-7 所示。

1) 感知层

物联网的目标之一是实现“物与物”和“人与物”之间的通信，感知层技术作为实现物联网感知能力的核心和物联网关键技术之一，其关键在于对物品的更精确、更全面的感知能力，其作用类似于人的眼、耳、鼻、喉和皮肤等感官或神经末梢，能够完成对物理世界实体的信息采集、捕获和识别。感知层由各种传感器及传感器网关构成。传感器是指能按照一定的规律将感知到的被测量转换成可用输出信号（模拟量或数字量）的器件或装置，是感知延伸层获取数据的一种设备。常见的传感器包括温度传感器、湿度传感器、压力传感器、加速度传感器、气敏传感器、二氧化碳浓度传感器、超声波测距传感器、摄像头、GPS 终端等。

2) 网络层

物联网的网络层是物联网信息的基础承载网络，它建立在现有的移动通信网和互联网基

础上，主要完成信息的传送，实现人与人、人与物、物与物之间的通信，主要包括接入网络和核心网络二层结构。

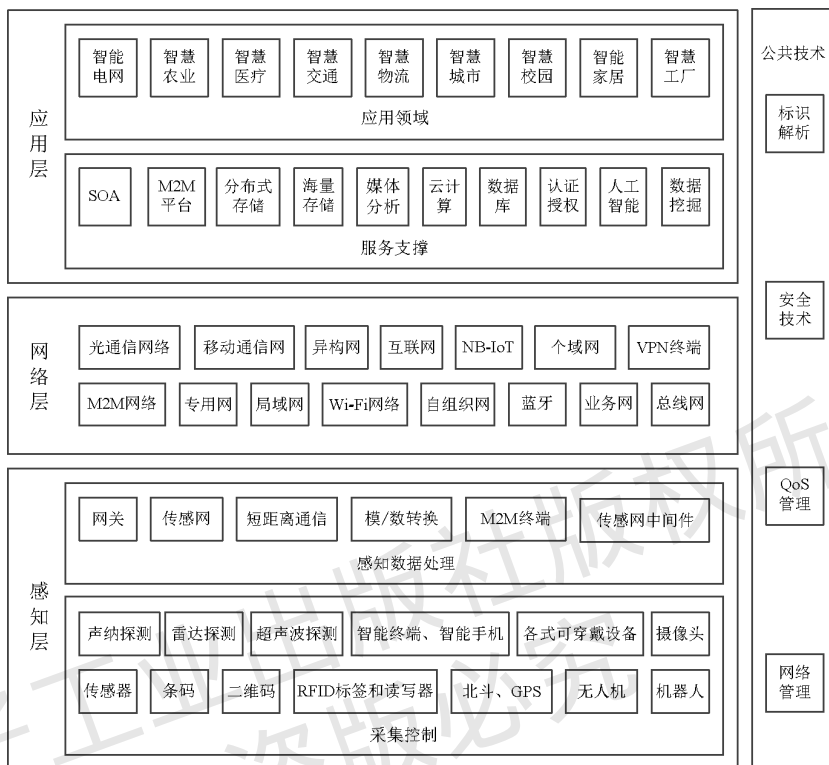


图 1-7 物联网体系结构

3) 应用层

物联网的应用层是物联网和用户（包括人、组织和其他系统）之间的接口，是实现物联网技术与行业需求密切结合并智能应用的功能层。

应用层能够实现信息存储、数据挖掘和智能决策等功能。它涉及海量信息智能处理、分布式计算、中间件、信息发现等多种技术，目前已经应用到多个领域。

1.4 物联网关键技术

1. 物联网技术特征

物联网的核心是物与物，以及人与物之间的信息交互。从通信对象和通信过程来看，物联网技术特征可概括为全面感知、可靠传送和智能处理。

1) 全面感知

物联网系统中的首要环节是对物理世界的信息进行时效性采集，要求传感器（或 RFID）等采集设备能够被嵌入需要采集信息的地点、物体及系统中，利用采集技术和方法实时高效采集

目标信息，并对其进行整合处理。

2) 可靠传送

可靠传送是指对采集到的数据进行安全加密，并采用各类有效的协议进行安全传输，以保证数据的高可靠性、安全性及准确性。可采用的通信技术包括 4G/5G、Wi-Fi、计算机网络、卫星通信等。

3) 智能处理

智能处理是指利用计算机技术、大数据处理技术、人工智能技术对接收到的物联网大数据进行加工、处理，为最终智能决策和控制服务。

根据国家标准 GB/T 33474—2016 中关于物联网技术框架的描述，物联网涉及的主要技术分为感知层技术、应用层技术和网络层技术和公共技术。该框架代表着物联网信息技术的集合，如图 1-8 所示。

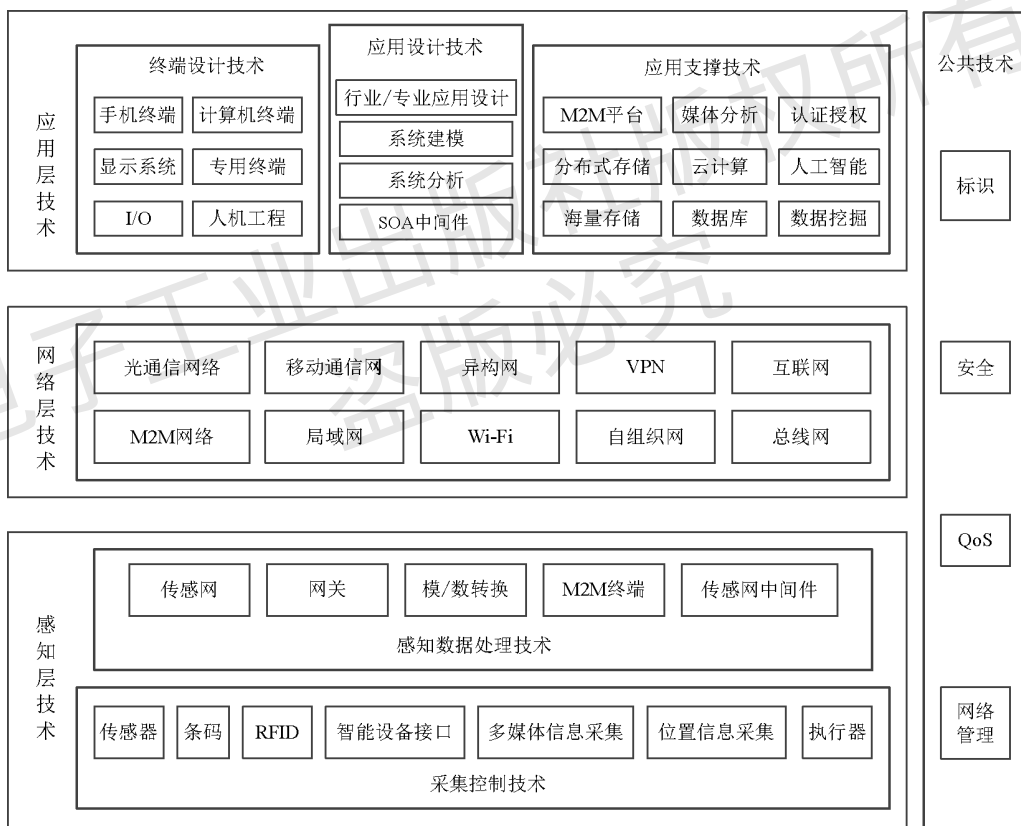


图 1-8 物联网技术框架

2. 感知层关键技术

感知层技术是物联网系统应用的基础，主要完成对物理世界对象信息的感知与识别，具体涉及信息采集、处理、传送或控制功能，分为采集控制技术和感知数据处理技术。

采集控制技术采用与感知对象绑定或连接的方式完成数据采集或控制，包括传感器技术、条码技术、RFID 技术、智能设备接口技术、多媒体信息采集技术、位置信息采集技术

(北斗、GPS)、执行器技术。

感知数据处理技术对采集到的数据进行加工处理,包括传感网技术、模/数转换技术、网关技术、M2M 终端技术、传感网中间件技术。

感知层的条码、二维码、RFID 标签等技术可以利用标识和解析功能识别每个感知对象,就是对物理实体、通信实体和应用实体赋予或提取其本身固有的属性进行正确解析。目前,我国已经推出相关标识系列国家标准,如物联网标识体系(GB/T 37032—2018)、物联网标识体系 数据内容标识符(GB/T 38606—2020)、物联网标识体系 Ecode 标识系统安全机制(GB/T 38660—2020)、物联网标识体系 Ecode 标识体系中间件规范(GB/T 38663—2020)、交通运输 物联网标识应用分类及编码(GB/T 37377—2019)等。

3. 网络层关键技术

由感知层技术采集的数据被网络层传输给应用层,或应用层数据经过网络层再向感知层传输,需要利用物联网通信技术完成传输操作。根据国家标准的物联网概念模型,网络技术涉及域内和域间实体通信连接和信息交换,每种网络技术都各有其优点和不足,对实际应用需求满足情况也不同。

网络层关键技术有光通信网络技术、移动通信网技术(如 3G、4G、5G)、互联网技术、局域网技术、Wi-Fi 技术及自组织网技术等。

4. 应用层关键技术

应用层技术实现数据的接收、存储、计算、决策、授权等,并对客户提供不同应用型服务。应用层技术分为终端设计技术、应用设计技术和应用支撑技术。

终端设计技术包括手机终端、计算机终端、显示系统、专用终端、I/O 和人机工程等技术。

应用设计技术包括行业/专业应用设计、系统建模、系统分析、SOA 中间件等技术。

应用支撑技术包括 M2M 平台、媒体分析、认证授权、分布式存储、云计算、人工智能、海量存储、数据库和数据挖掘等技术。

应用物联网技术的目的就是使“物体”具有智慧功能,能够“开口说话”。例如,通过植入的各种自动识别标志(如传感器、电子标签和二维码等)及时获取指定物体的各种属性信息(如状态、位置等)。然而,这些“智慧物体”产生的信息量是庞大的。假设每个传感器节点每分钟采集 1KB 数据,那么 1000 个这样的节点每天可产生大约 1.4GB 数据,而在部署物联网应用系统时涉及的传感器数量更多,每个传感器产生的数据量可能更大,系统每年运行产生的数据总量将是一个天文数字,形成“海量数据”和物联网大数据。

显然,采用传统的数据库技术无法解决“海量数据”的存储与处理问题,因此这涉及分布式数据处理技术的应用。

再如数据挖掘(Data Mining, DM)。它是从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的及随机的实际应用数据中,通过算法挖掘出隐含的、未知的、对决策有潜在价值的数据的过程。由于物联网产生的海量数据中隐含着某些令用户感兴趣的数据,而这些数据必须使用海量数据中的数据挖掘技术才有可能被找到。采用数据挖掘技术对数据进行统计、分析、综合、归纳和推理,揭示事件及数据间的潜在关系,预测未来趋势,为决策者提供决策支撑。常见的

数据挖掘算法包括聚类及关联分析、分类、回归及时间序列分析等。

综上所述，应用层技术涉及学科多、交叉性强，能够为物联网系统的具体应用提供支撑服务，实现跨行业、跨应用、跨系统的信息协同、共享、互通。

5. 公共技术

公共技术是管理和保障物联网整体性能的技术，它涉及各层，主要有标识技术、安全技术、QoS技术和网络管理技术。

从本质上讲，公共技术部分不属于单独的层次，因为它所涉及的技术在感知层、网络层和应用层3个层次中都有体现。具体而言，公共技术的安全在感知层体现为边缘计算安全，在网络层体现为网络安全，在应用层体现为数据安全、系统安全，而且有些内容贯穿多个层次，所以公共技术部分属于3个层次共有。

例如，物联网的安全性是影响物联网技术应用的重要因素之一，系统的高安全性可防止或减少系统运行中数据丢失、隐私泄露、系统被恶意控制等恶性事件的发生。随着物联网技术的应用，配有物联网感知器件的“智慧体”被广泛部署在生活中的各个领域。但是，物联网在大大提高社会自动化程度的同时也带来了巨大的安全隐患。因此，大力推广物联网技术和提升物联网安全意识必须同时进行。物联网的安全隐患主要源于终端安全威胁、网络安全威胁和业务安全威胁等，从这几方面加强对安全隐患的设防十分关键。

目前，我国已经推出物联网方面的国家安全标准，如信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求（GB/T 37025—2018）、信息安全技术 物联网安全参考模型及通用要求（GB/T 37044—2018）、信息安全技术 物联网感知终端应用安全技术要求（GB/T 36951—2018）、信息安全技术 物联网感知层网关安全技术要求（GB/T 37024—2018）、信息安全技术 物联网感知层接入通信网的安全要求（GB/T 37093—2018）、公安物联网感知终端安全防护技术要求（GB/T 35318—2017）、公安物联网感知终端接入安全技术要求（GB/T 35592—2017）、公安物联网感知设备数据传输安全性评测技术要求（GB/T 37714—2019）、公安物联网系统信息安全等级保护要求（GB/T 35317—2017）等。

此外，服务质量（Quality of Service, QoS）是网络的一种安全机制，是解决网络的有限带宽、延迟、阻塞和丢包等问题的一种技术。随着物联网应用范围越来越广泛，存储需求之间的区别也越来越明显，这就需要为不同的应用需求提供不同的服务，并且尤其注重数据存储的服务质量。因此，如何为用户提供满足其应用需求的存储服务就成为物联网技术发展中密切关注的一个要点。

1.5 物联网典型应用领域

物联网的应用领域非常广阔，从个人居家生活到工业自动化生产，从城市建设、交通管理到国家军事安全与反恐，物联网都有非常大的应用发展空间。尤其是与互联网、移动通信网（如4G、5G等）相连并解决传输速度瓶颈、安全可靠性问题后，在结合人工智能技术、大数据技术实现智能化信息处理的领域，物联网的应用前景将更加引人注目。

1.5.1 智能电网

智能电网（见图 1-9）是指在现有电网和集成、高速双向通信的基础上，通过先进的传感与测量技术、设备技术、控制技术和决策支持技术进行改造升级，来实现电网的可靠、安全、经济、高效的管理与运营。



图 1-9 智能电网

智能电网关系我国能源安全、工农业发展和民生工程。在目前国际政治形势下，智能电网的国家发展战略意义更加重大，已引起了世界各国的高度重视，特别是智能电网安全问题，更引起了从政府到民众的广泛关注。

1.5.2 工业互联网

工业互联网（见图 1-10）的主要应用集中在制造业供应链管理、生产过程工艺优化、产品设备监控管理、环保监测及能源管理、工业安全生产管理上。



图 1-10 工业互联网

1.5.3 智慧农业

智慧农业（见图 1-11）是物联网的一个典型应用，它通过实时采集大棚（或温室）内的温度、湿度、光照度、土壤温湿度、CO₂ 浓度、叶面湿度、露点温度等参数，根据智能管理

系统尽最大努力来自动管理农业物联网系统的运行。



图 1-11 智慧农业

此外，我国在 2021 年 12 月 31 日发布国家标准农业物联网应用服务（GB/T 41187—2021）并于 2022 年 7 月 1 日实施，对农业物联网应用服务进行分类，如图 1-12 所示。该分类适用于农业物联网应用层的服务设计、提供和使用。

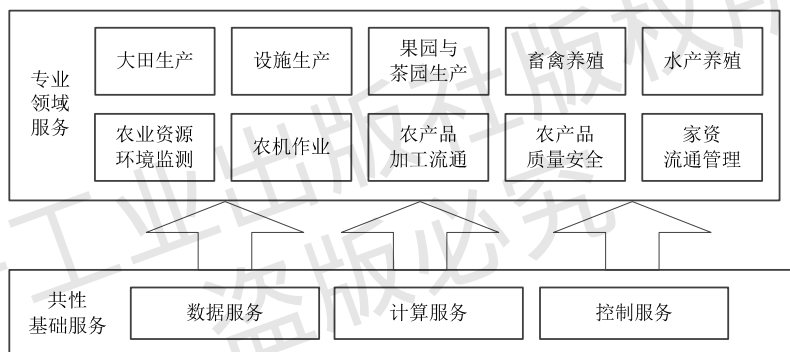


图 1-12 农业物联网应用服务总体分类

1.5.4 智慧医疗

智慧医疗（见图 1-13）是指借助家庭医疗传感设备对家中患者或老人的生理指标进行自动检测，并通过网络系统传输给远程护理人、医生或医疗单位来实现线上医疗，有利于优化医疗资源配置，提高医疗资源的利用效率。



图 1-13 智慧医疗

1.5.5 智慧交通

智慧交通（见图 1-14）是指通过各物联网技术实现公共交通的监控、管理、报站、电子票务等系列活动，目的是方便人们日常出行，优化和管控交通流量。同时，智慧交通还可以根据对车辆的北斗或 GPS 定位来提高公共安全治理能力和水平。

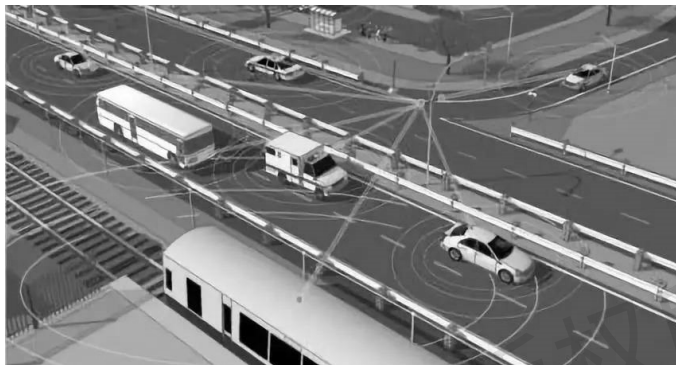


图 1-14 智慧交通

1.5.6 智慧物流

智慧物流（见图 1-15）是指利用计算机、条码、传统物流和车辆导航监控等技术手段打造的信息，实现电子商务、物流配载和仓储管理等服务于物流功能的物流模式。



图 1-15 智慧物流

1.5.7 智慧城市

智慧城市（见图 1-16）是指利用各种信息技术及创新理念，围绕城市系统和服务进行设计、集成或开发，来实现城市资源运用效率提升和城市管理优化，有助于提升城市服务质量

和人民生活水平。智慧城市的建设还可以通过新技术的运用来实现城市信息化、工业化与城镇化的深度融合和精细化、动态化管理。

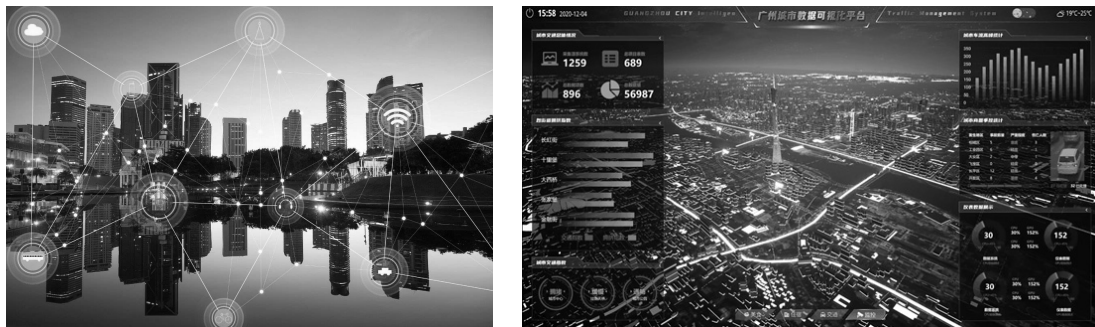


图 1-16 智慧城市

1.5.8 智能家居

智能家居（见图 1-17）是指以人们家庭住宅为基础，综合利用布线技术、网络通信技术、智能技术、网络安全技术、安全防火防盗技术、自动检测与控制技术、音频视频技术等对必要生活设施进行升级改造，利用各类传感器、设备或设施对家居环境进行智能化升级。

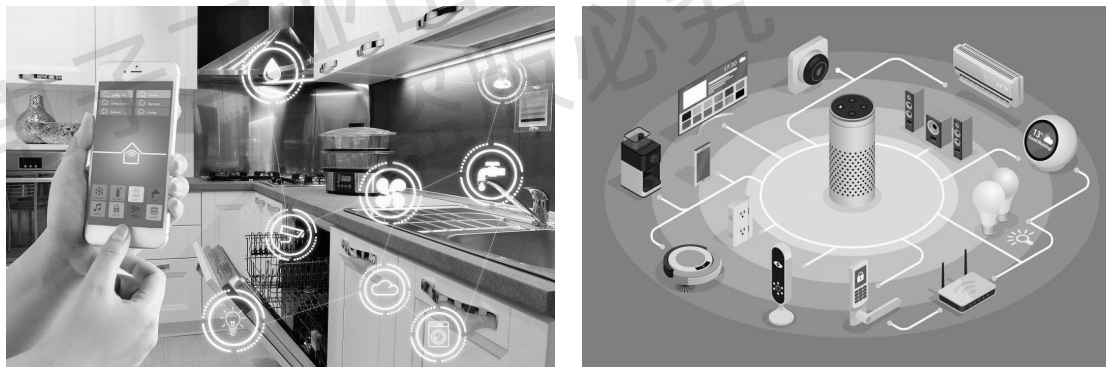


图 1-17 智能家居

从 2017 年开始，我国就不断发布和实施智能家居的系列国家标准，如物联网智能家居 图形符号（GB/T 34043—2017）、物联网智能家居—数据和设备编码（GB/T 35143—2017）、物联网智能家居—用户界面描述方法（GB/T 39189—2020）、物联网智能家居—设计内容及要求（GB/T 39190—2020）等。

1.5.9 智慧校园

智慧校园是指采用物联网技术对校园开展管理、教学、科研、学习和生活等活动的智慧型场所。在系列优化和管理过程中，智慧校园围绕各种应用服务进行设计，使得校园生活得到充分融合。

2019年1月1日,我国实施国家标准智慧校园总体框架(GB/T 36342—2018),其明确指出智慧教学环境、智慧教学资源、智慧校园管理、智慧校园服务、信息安全体系等系统架构及基本要求。按照该标准的理解,智慧校园是物理空间和信息空间的有机衔接,任何人在任何时间和任何地点都能便捷地获取资源和服务。智慧校园是数字校园的进一步发展和升级,是教育信息化的更高级形态。

1.6 本章小结

在万物互联的时代,物联网技术的应用及普及改变了人们的生活方式,也带来了新的技术风险和挑战。本章围绕着物联网的基本状况进行讲解,介绍了物联网的背景、发展趋势、体系结构、关键技术及典型应用领域。

习题

- 1.1 (单选) 物联网的英文缩写为 ()。
- A. WWW B. IoT C. HTTP D. TCP
- 1.2 (单选) 无线传感器网络的英文缩写为 ()。
- A. WSN B. WSNs C. NFC D. CAN
- 1.3 (单选) 人工智能的英文缩写为 ()。
- A. DNS B. IoT C. AI D. QoS
- 1.4 (单选) 蓝牙技术不能用于 ()。
- A. 数据传输 B. 室内定位
C. 连接设备 D. 存储数据
- 1.5 (单选) 下列选项中不属于感知层技术的是 ()。
- A. 传感器 B. RFID
C. 二维码 D. 数据挖掘
- 1.6 (单选) 下列选项中不属于应用层技术的是 ()。
- A. 海量存储 B. M2M 平台
C. 云计算 D. 异构网
- 1.7 (单选) 物联网 RFID 技术中,能够读取标签中信息的设备是 ()。
- A. 天线 B. 标签
C. 读写器 D. 应答器
- 1.8 (单选) 物联网 RFID 技术中,支持物体身份标识的技术是 ()。
- A. 天线 B. 标签
C. 读写器 D. 应答器

- 1.9 简述物联网的技术特征。
- 1.10 简述工业互联网的战略意义。
- 1.11 简述智能家居的功能。
- 1.12 物联网结构由哪三层构成？每层的功能是什么？
- 1.13 简述工业 4.0 的主要内容。
- 1.14 简述物联网技术框架的组成。
- 1.15 简述物联网的概念。
- 1.16 我国的数字经济涉及哪些方面？

电子工业出版社版权所有
盗版必究