

Contents

目录

- 第一章 物联网与工业物联网概述.....1
 - 第一节 物联网概念.....1
 - 第二节 物联网产业的特点及产业链结构.....10
 - 第三节 工业物联网本质.....12
 - 第四节 工业物联网当下难点与突破思路.....14
- 第二章 工业物联网体系架构.....18
 - 第一节 体系架构的业务视角分析.....18
 - 第二节 工业物联网体系的构建思考.....24
 - 第三节 工业物联网技术趋势.....26
- 第三章 工业物联网感知技术.....30
 - 第一节 工业物联网感知层的内涵.....30
 - 第二节 传感器与传感网技术.....34
 - 第三节 工业数据采集关键指标.....58
- 第四章 工业物联网的通信技术.....62
 - 第一节 工业通信基础.....62
 - 第二节 有线设备接入.....65
 - 第三节 无线设备接入.....70

第五章 工业物联网网络连接	105
第一节 OSI 参考模型	105
第二节 网络互联和数据互通	108
第三节 有线网络互联	116
第四节 无线网络互联	120
第五节 数据互通：OPC UA	135
第六章 工业物联网支撑技术	140
第一节 大数据	140
第二节 云计算	147
第三节 机器学习	152
第四节 人工智能技术	160
第五节 数据挖掘技术	166
第六节 搜索引擎技术	177
第七节 嵌入式系统	184
第七章 移动车联网应用	191
第一节 车联网原理	191
第二节 车联网关键技术	194
第三节 车联网应用	202
参考文献	205

物联网与工业物联网概述

第一节 物联网概念

一、物联网的定义和特征

(一) 物联网的定义

1. 什么是物联网

物联网概念的兴起，在很大程度上得益于 ITU 在 2005 年发布的互联网研究报告《物联网》，但是 ITU 的研究报告并没有给出清晰的物联网的定义。

所有参与物联网研究的技术人员都有一个美好的愿景：将传感器或射频标签嵌入电网、建筑物、桥梁、公路、铁路，以及周围的环境和各种物体中，并且将这些物体互联成网，形成物联网，实现信息世界与物理世界的融合，使人类对客观世界具有更加全面的感知能力、更加透彻的认知能力、更加智慧的处理能力。如果说互联网、移动互联网的应用主要是关注人与信息世界的融合，那么物联网将实现物理世界与信息世界的深度融合。

我们可以看到多种关于物联网的不同定义，但是至今仍然没有形成一个公认的定义。在比较了各种物联网定义的基础上，根据目前对物联网技术特点的认知水平，总结提出的物联网定义是：按照约定的协议，将具有“感知、通信、计算”功能的智能物体、系统、信息资源互联起来，实现对物理世界“泛在感知、可靠传输、智慧处理”的智能服务系统。

2. 什么是物联网中的“物”

物联网中的“智能物体”或者“智能对象”指的是现实物理世界的人或物，只是我们

给它增加了“感知”“通信”与“计算”能力。例如，我们可以给商场中出售的微波炉贴上 RFID 标签。当这台微波炉经过结算柜台时，RFID 读写器就会通过无线信道直接读取 RFID 标签的信息，知道微波炉的型号、生产公司、价格等信息。这时，这台贴有 RFID 标签的微波炉就是物联网中的一个具有“感知”“通信”与“计算”能力的智能物体（Smart Thing）或称智能对象（Smart Object）。在不同的物联网应用系统中，智能物体的差异可以很大：可以是小到你用肉眼看不见的物体，也可以是一个大的建筑物；可以是固定的，也可以是移动的；可以是有生命的，也可以是无生命的；可以是人，也可以是动物。“智能物体”是对连接到物联网中的人与物的一种抽象。

（二）从信息技术发展的角度认识物联网的技术特征

支撑信息技术的三个支柱是传感器技术、通信技术与计算机技术，它们分别对应于电子科学与技术、信息与通信工程以及计算机科学与技术这三个重要的工科学科。电子科学与技术、信息与通信工程以及计算机科学与技术这三门学科的高度和交叉融合，为物联网技术的产生与发展奠定了重要的基础，形成了物联网多学科交叉的特征。

我们还可以从网络技术发展历程的角度来认识物联网的技术特征。20 世纪 60 年代之前，计算机技术与通信技术独立发展。当计算机技术与通信技术发展到一定的程度，并且社会产生了将这两项技术交叉融合的需求时，计算机网络就应运而生。20 世纪 90 年代，计算机网络最成功的应用——互联网出现在人们的视野中。随着应用的发展，互联网“由表及里”地渗透到社会的各个方面，潜移默化地改变了人们的生活方式、工作方式与思维方式。随后，移动通信技术出现了突破性的发展，智能手机接入互联网促进了移动互联网的发展。在互联网、移动互联网应用快速发展的同时，感知技术、智能技术与控制技术的研究实现了重大突破，很多具有较高应用价值的技术，如云计算、大数据、嵌入式系统、机器智能、智能人机交互、智能机器人、可穿戴计算等开始进入应用阶段，进一步促进了物联网的发展。

回顾物联网的发展过程，我们可以看到物联网与云计算、大数据、智能技术之间有着密不可分的关系。云计算促进了物联网的发展；物联网应用中产生与积累的数据是大数据的主要组成部分，为大数据研究的发展提供了重要的推动力；物联网与大数据研究又进一步对智能技术提出强烈的应用需求，加速了智能技术应用的发展。互联网与移动互联网、物联网的关系，以及物联网与云计算、大数据、智能技术的关系如图 1-1 所示。

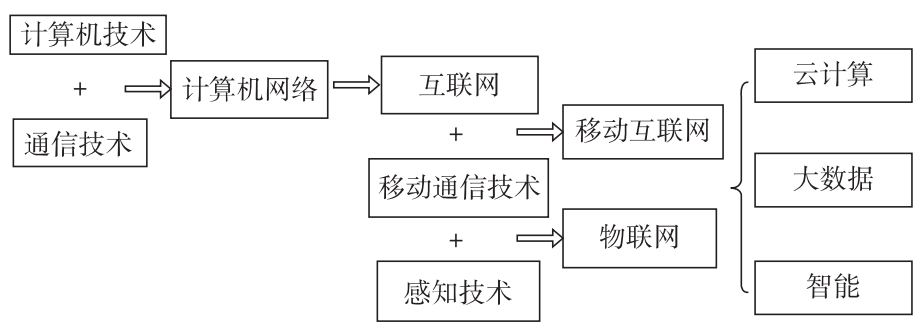


图 1-1 互联网与移动互联网、物联网的关系以及物联网与云计算、大数据、智能技术的关系

（三）从物联网功能的视角认识物联网的结构特征

在研究物联网的技术特征时，我们有必要将物联网的工作过程与人对外部客观物理世界的感知及处理过程做一个比较。我们的感知器官，如眼、耳、鼻、舌头、皮肤各司其职，眼睛能够看到外部世界，耳朵能够听到声音，鼻子能够嗅到气味，舌头可以尝到味道，皮肤能够感知温度。感知器官所感知的信息由神经系统传递给大脑，再由大脑根据综合感知的信息和存储的知识做出判断，从而选择处理问题的最佳方案。将人对外部客观物理世界的感知与处理过程同物联网工作过程做比较，不难看出两者之间有惊人的相似之处。因此，物联网可以分为三层：感知层、网络层与应用层。

1. 感知层

感知层不仅包括各种传感器，还包括各种执行设备与装置，因此也被称为“感知执行层”。

人们将 RFID 形容为能够让物体“开口”的技术。RFID 标签中存储了物体的信息，通过无线信道将它们存储的数据传送到 RFID 应用系统中。一般的传感器只具有感知周围环境参数的能力。例如，在环境监测系统中，温度传感器可以实时地传输它所测量到的环境温度，但是它对环境温度不具备控制能力。对于一个精准农业物联网应用系统中的植物定点浇灌传感器节点，系统设计者希望它能够在监测到土地湿度低于某一设定的数值时，就自动打开开关，给果树或蔬菜浇水。这种感知节点在感知的同时具有控制能力。在物联网突发事件应急处理的应用系统中，处理核泄漏现场的机器人可以根据指令进入指定的位置，通过传感器将周边的核泄漏相关参数测量出来，传送给指挥中心，再根据指挥中心的指令，打开某个开关或关闭某个开关。从以上例子可以看出，具有智能处理能力的传感器节点，同时具备感知和控制能力，以及适应周边环境的运动能力。因此，一块简单的 RFID 标签芯片、一个温度传感器或测控装置，与一个复杂的智能机器人之间最重要的区

别表现在：智能物体是否需要同时具备感知能力和控制、执行能力，以及需要什么样的控制、执行能力。

2. 网络层

网络层又被称为网络与数据通信层。物联网网络层的功能首先是将感知设备与执行设备接入物联网，完成将感知数据传送到应用层，再将应用层的控制指令传送到执行设备的任务。

物联网应用系统多种多样，有小范围的简单应用，有中等规模的协同感知应用，也有大规模的行业性应用。小型的物联网应用系统可以是一个文物和珠宝展览大厅的安保系统、一个智能家居系统、一幢大楼的监控系统、一个仓库的物流管理系统等；中等规模的物联网应用系统可以是集装箱码头和保税区物流系统、城市智能交通系统、智能医疗保健系统等；大规模的物联网应用系统可以是国际民用航空运输的物联网应用系统、海运物流应用系统，以及国家级的智能电网、智能环保系统等。不同类型的物联网应用系统使用的传感器与 RFID 类型、传感器与 RFID 标签的接入方式、数据量与数据传输方式都会有很大的差别。

网络层可以采用所有可能的有线或无线通信与网络技术，将大量的感知设备与系统中的计算机、服务器、云计算平台互联起来，组成支撑物联网应用的网络系统，实现物联网的服务功能。物联网的网络层使用的技术包括互联网中的广域网、城域网与局域网技术。

物联网感知层使用大量移动计算方式，因此，无线通信与网络技术在物联网中尤为重要。目前，物联网使用的无线通信与网络技术包括无线广域网、无线城域网、无线局域网（Wi-Fi）、无线个人区域网（蓝牙或 ZigBee）与无线人体区域网。移动通信 3G/4G 等技术已经在物联网中广泛使用，未来 5G 与窄带 NB-IoT 将为物联网终端设备的大量接入提供更安全、便捷与高性能的通信服务。为了适应物联网应用的快速发展，世界各国都在规划和推进对新一代无线通信与网络技术的研究。

3. 应用层

在云计算与高性能计算技术的支持下，应用层将利用搜索引擎、数据挖掘、智能决策对采集到的海量数据进行处理，为智能工业、智能农业、智能交通、智能医疗、智能家居等各行各业的应用提供服务。

（四）从物联网覆盖范围的角度认识物联网的应用特征

从空间的角度来看，物联网将覆盖从地球的内部到表层、从基础设施到外部环境、从陆地到海洋、从地表到空间的所有部分。

从行业角度来看，物联网将覆盖包括工业、农业、交通、电力、物流、环保、医疗、家居、安防、军事等各行各业，以及智慧城市、政府管理、应急处置、社交服务等各个领域。

（五）从物联网工作方式认识物联网的运行特征

从物联网“泛在感知、可靠传输与智慧认知”的工作方式来看，物联网的运行特征是：可以在任何时候（Anytime）、任何地点（Anywhere）与任何一个物体（Anything）之间进行通信、交换和共享信息。

二、普适计算与物联网

（一）什么是普适计算

随着计算机与信息技术越来越广泛地应用到各行各业和人类生活，各种感知、网络、智能、嵌入式技术、应用系统与设备大量涌现。人们在面对种类越来越多、功能越来越强、使用方法越来越复杂的信息服务系统与嵌入式计算设备时，常常会感到“不会使用”“无所适从”。面对这种局面，一种新的“普适计算”概念应运而生。

从研究的方法与预期的目标可以看出，普适计算是在人类生活的环境中广泛部署感知与计算设备，通过这些感知与计算设备的互联，实现无处不在的信息采集、传输与计算，将“人——机器——环境”融为一体，从而实现环境智能的目标。

（二）普适计算的主要技术特征

1. 计算能力的“无处不在”与计算设备的“不可见”

“无处不在”是指随时随地访问信息的能力；“不可见”是指在物理环境中的多个传感器、嵌入式设备、移动设备，以及其他任何一种有计算能力的设备，可以在用户未觉察的情况下进行计算、通信，提供各种服务，最大限度地减少用户的介入。

2. 信息空间与物理空间的融合

普适计算是一种建立在分布式计算、通信网络、移动计算、嵌入式系统、传感与智能等技术基础上的新型计算模式。它反映出人类对信息服务需求的提高,具有随时随地享受计算资源、信息资源与信息服务的能力,能够实现人类生活的物理空间与信息空间的融合。随着无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)、射频标签(RFID)等技术的迅速发展,人们惊奇地发现,普适计算的概念在 WSN 与 RFID 应用中能够得到很好的实践与延伸。借助大量部署的传感器与 RFID 的感知节点,可以实时地感知与传输我们周边的环境信息,从而将真实的物理世界与虚拟的信息世界融为一体,改变人与自然界的交互方式,最终将人与人、人与机器、机器与机器的交互统一为人与自然的交互,达到“环境智能”的境界。

3. 以人为本与自适应的网络服务

我们平常处理工作需要坐在办公桌的计算机前,即使是笔记本电脑也需要随身携带。仔细品味普适计算的概念之后,我们可以发现,在桌面计算模式中,是人围绕着计算机,以“计算机为本”的;而普适计算研究的目标就是突破桌面计算的模式,摆脱计算设备对人类活动范围与工作方式的约束。普适计算通过结合计算与网络技术,将计算能力与通信能力嵌入环境与日常工具,让计算设备本身从人们的视野中“消失”,从而让人们的注意力回归到要完成的任务本身。

(三) 普适计算与物联网的关系

1. 普适计算的研究目标和工作模式与物联网有很多相似之处。
2. 普适计算的研究方法与研究成果对物联网的研究与应用有重要的借鉴与启示作用。
3. 物联网的出现使我们在实现普适计算的道路上前进了一大步。

三、CPS 与物联网

(一) 什么是 CPS

在研究物联网的形成与发展的时候,我们还需要注意与物联网发展密切相关的另一项重要研究计划信息物理融合系统(Cyber Physical System, CPS)。CPS 是感知、通信、计算、智能与控制技术交叉融合的产物。



随着新型传感器、无线通信、嵌入式与智能技术的快速发展，CPS 研究引起学术界广泛的重视。CPS 是一个综合计算、网络与物理世界的复杂系统，通过计算技术、通信技术与智能技术的协作，实现信息世界与物理世界的紧密融合。如同互联网改变了人与人的互动方式一样，CPS 将会改变人与物理世界的互动。

CPS 研究的对象小到纳米级生物机器人，大到涉及全球能源协调与管理的复杂大系统。CPS 的研究成果可以用于智能机器人、无人驾驶汽车、无人机，也可以用于智能医疗领域的远程手术系统、人体植入式传感器系统。CPS 是将计算和通信能力嵌入传统的物理系统，形成集计算、通信、控制于一体的下一代智能系统。

CPS 技术的研究内容很丰富，在此选用自动泊车系统设计，来直观地解释 CPS 的基本概念、研究的基本内容与技术特征。

对于生活在城市中的人们而言，寻找一个合适的车位，并且能够将汽车安全、快速、准确地泊入车位是一件困难的事。在这样的背景下，自动泊车系统应运而生。它是无人驾驶汽车的基本功能之一。

自动泊车系统是一种能够安全、快速地将车辆自动驶入车位的智能泊车辅助系统，它通过超声传感器和图像传感器感知车辆周边的环境信息，识别泊车的车位。汽车的自动泊车过程由车位识别、轨迹生成与轨迹控制三个阶段组成。

1. 车位识别

自动泊车的第一阶段是车位识别阶段，它需要通过两步来完成。

第一步：利用超声波传感器实现车位识别功能。

行进中的车辆通过超声波传感器对泊车环境中的障碍物进行精确测距，从而为自动泊车系统提供泊车环境模型的准确数据。

当驾驶员选择“自动泊车”功能并按下“泊车”键时，超声波传感器就会定期向周边发送超声波信号，同时接收反射回的信号；用计数器统计超声波信号从发射到接收的时间差，计算出车辆与障碍物的距离。

一般情况下，提供自动泊车功能的汽车要在车的前端、后端和两侧安装至少 8 个超声波传感器，以便提供车辆周边不同方位障碍物的精确距离信息，判断选择的空闲车位是否满足泊车条件，从而实现车位识别功能。

第二步：利用图像传感器实现车位调节功能。

行进中的车辆利用安装在车尾的广角摄像头，采集车位环境图像信息，并将环境图像信息传送到车载计算机的图像处理系统中。图像处理系统根据采集到的环境图像信息进

行图像测距，并在图像中建立一个与实际车位大小相同的虚拟车位，通过在图像中调节虚拟车位，实现虚拟车位与实际车位之间的匹配，进一步完善车位信息。

2. 轨迹生成

第二阶段是轨迹生成阶段。在这个阶段，该系统通过建立车辆运动学模型，分析车辆在转弯过程中的运动半径与方向盘转角的关系，计算出车辆在泊车过程中可能会遇到的碰撞区域。该系统在对泊车过程建模分析的基础上，构造泊车模型，根据几何学原理计算出车辆在泊车过程中的轨迹。当生成的车辆移动轨迹与根据图像分析得到的车位数据匹配后，系统就将控制车辆实时运动轨迹的转角、速度指令发送给执行机构。

3. 轨迹控制

第三阶段是轨迹控制阶段。在这个阶段，通过执行实时运动轨迹的转角、转速指令，车辆机械传动系统会控制方向盘的转向角与车辆速度，进而控制车辆的泊车过程。

从自动泊车的过程中可以看出，设计一个自动泊车系统需要用到感知技术、计算技术、通信技术、智能技术与控制技术。

自动泊车技术是汽车无人驾驶技术的一个重要研究方向，它是感知、计算、通信、智能与控制技术交叉融合的产物，是一种典型的信息物理融合的 CPS 系统。

（二）CPS 的主要技术特征

从自动泊车的实例中可以清楚地认识到，CPS 在环境感知的基础上，形成了可控、可信与可扩展的网络化智能系统，通过扩展新的功能，使系统具有更高的智慧。CPS 系统的主要技术特征可以总结为“感”“联”“知”“控”。

“感”是指多种传感器协同感知物理世界的状态信息。

“联”是指连接物理世界与信息世界的各种对象，实现对象间的信息交互。

“知”是指通过对感知信息的智能处理，正确、全面地认识物理世界。

“控”是指根据正确的认知，确定控制策略，发出指令，指挥执行器处理物理世界的问题。

CPS 是环境感知、嵌入式计算、网络通信深度融合的系统。

（三）CPS 研究与物联网之间的关系

第一，CPS 研究的目标与物联网未来的发展方向是一致的。

第二，CPS 与物联网都会催生大量的智能设备与智能系统。



第三，CPS 的理论研究与技术研究成果，对物联网未来的发展有着重要的启示与指导作用。

在讨论了普适计算、CPS 研究之后，可以得出如下结论：普适计算与 CPS 作为一种全新的计算模式，跨越了计算机、软件、网络与移动计算、嵌入式系统、人工智能等多个研究领域，向我们展示了“世界万事万物，凡存在，皆联网；凡联网，皆计算；凡计算，皆智能”的发展趋势。这也是物联网要实现的目标。

四、物联网与互联网的区分

物联网是在互联网的基础上发展起来的，在网络体系结构研究方法、网络核心技术与网络安全技术等方面可以看到两者的相通之处。互联网成功的经验、理论和方法都可以应用到物联网研究之中。但是，在学习物联网技术时，我们需要注意物联网与互联网的不同之处。

（一）物联网提供行业性、专业性与区域性的服务

互联网所提供的服务主要用于全球客户的信息交互与共享，如 E-mail、Web、搜索引擎服务，以及即时通信、网络音乐、网络视频服务等。而物联网的设计思路是不同的，从物联网重点发展的智能工业、智能农业、智能电网、智能交通、智能物流等九大行业的应用可以清晰地看出：物联网应用主要面向行业、专业和区域。

（二）物联网数据主要通过自动方式生成

互联网上传输的文本、语音、视频数据主要通过计算机、智能手机、照相机、摄像机等，以人工方式生成；而物联网的数据主要是通过传感器、RFID 标签等感知设备，以自动方式生成。

（三）物联网是可反馈、可控制的闭环系统

互联网能够以超常规的速度发展，得益于开放式的设计思想。只要遵守 TCP/IP 协议，任何用户都可以方便地在一个或多个电子邮件系统中建立自己的邮箱；可以方便地访问世界上任何一个 Web 服务器，随时随地搜索信息，下载歌曲、图片与视频；可以方便地加入一个微信群，自由地发表意见。互联网为我们构建了一个可以进行信息交互与共享的信息世界。

物联网应用系统，如智能工业、智能农业、智能电网、智能医疗、智能交通、智能环保、智能安防等，它们通过感知、传输与处理智能信息，生成智慧处理策略，再通过控制终端设备或执行器，对物理世界中的对象进行控制，达到智慧处理的目的。

由此可见，互联网主要提供开环的信息服务，而物联网主要提供闭环的控制服务。典型的物联网应用系统都是“可反馈、可控制”的闭环系统。

第二节 物联网产业的特点及产业链结构

一、物联网产业的特点

（一）物联网产业的带动性

物联网的快速发展，预示着信息技术将会在人类社会发展中发挥更为重要的作用。物联网的出现标志着感知、通信与计算技术、产业的交叉融合，为信息产业创造出更加广阔的发展空间。物联网成为继计算机、互联网与移动通信之后的又一产值可以达到万亿元级别的新经济增长点。物联网的发展必然会形成一个完整的产业链，并提供更多的就业机会。

快速增长的市场需求吸引了世界各大 IT 企业。国际物联网产业生态布局已经展开，产业链正在逐步形成，我国的企业也纷纷布局物联网，抢占行业发展先机。物联网发展应该从大规模接入感知设备入手，向物联网平台与解决方案方向延伸，以获得持续创造价值的能力。

（二）物联网产业的渗透性

从促进工业化与信息化“两化融合”的角度，可以看出物联网具有跨学科、跨领域、跨行业、跨平台的综合优势，以及覆盖范围广、集成度高、渗透性强、创新性活跃的特点。

从物联网发展的系统性与层次性角度，可以将物联网应用分为：单元级、系统级、系统与系统级三个层次。物联网应用小到一个智能部件、一个智能产品，大到整个智能工



厂、智能物流、智能电网，从单一部件、单一设备、单一环节、单一场景的局部小系统，不断向大系统、局系统演变：从部门级向企业级、产业链与产业生态演变；从数据流闭环体系向复杂大系统演变。物联网通过融合互联网与移动互联网技术、智能技术、大数据与云计算、新能源与新材料等，促进新技术与传统产业的创新融合，从而产生巨大的辐射和带动作用，进而促进整个国民经济的发展。物联网将渗透到人类生活的各个方面。

（三）物联网产业的集成创新性

我们可以通过一个例子来说明物联网产业的集成创新性。美国曾掀起一场浩大的市政照明 LED 改造潮。美国智能路灯公司 Sensity Systems 将 LED 与物联网技术融合在一起，为街道、机场、购物中心等提供智能 LED 解决方案，创新性地推出光感网络的概念与服务。光感网络是在 LED 灯具中嵌入传感器，使其成为物联网的一个感知节点，可以检测市政 LED 路灯覆盖范围内的温度、湿度、光照强度、地震活动、辐射、风速、空气质量，甚至是否有停车位等。按照这种设计思路，数以万计的传感节点通过连接电信运营商提供的窄带物联网（NB-IoT）与 5G 网络就可以成为分布在城市各个位置的大型物联网系统，能够对整个城市核心区、交通干道，以及大型文化体育场馆、商场、公园、校园形成全覆盖。节点感知到的城市环境数据将汇聚到云计算平台。物联网应用系统通过数据挖掘、大数据与深度学习方法，对城市社会、经济、安全、交通、环境与应急指挥等管理数据进行处理，将一个光感物联网系统转变为一个融合云计算、大数据、智能技术的智能物联网平台，为智慧城市提供服务。

综合各种物联网应用系统的特点，我们可以看到：物联网产业融合了云计算、大数据、智能、控制，以及机器学习与深度学习、虚拟现实与增强现实、智能硬件与软件、可穿戴技术与智能机器人等各种新技术，具有横跨各行各业与各个领域的集成创新性特点，这也体现出物联网产业的巨大魅力。

二、物联网的产业链结构

物联网产业能够形成从上游“产品制造”、中游“系统集成与软件开发”到下游“应用服务”的完整产业链。

（一）上游的“产品制造”产业

物联网上游的“产品制造”产业包括专用芯片设计与制造、嵌入式系统开发、感知器件与控制设备生产、智能硬件设计与制造、无线通信与网络设备生产、网络安全产品生产。

（二）中游的“系统集成与软件开发”产业

中游的“系统集成与软件开发”产业包括系统解决方案提供商、系统集成商与软件开发商。

（三）下游的“应用服务”产业

下游的“应用服务”产业包括物联网运营服务提供商、移动通信运营商、互联网服务提供商、云计算服务提供商、高性能计算服务提供商以及网络安全服务提供商。

随着物联网应用的发展，社会对物联网产业的需求逐渐增多，物联网产业上游的“产品制造”产业、中游的“系统集成与软件开发”产业、下游的“应用服务”产业之间将逐渐形成相互依存、相互影响、相互促进的良性循环关系。

第三节 工业物联网本质

在推进“中国制造 2025”的进程中，如果把整个工业 4.0 比作人体，数字化需求就是大脑，高效化是灵魂，设备自动化是双腿，人工智能是双手，产品是躯干，而工业物联网是神经中枢。

在中枢神经系统的灰质中，功能相同的神经元细胞汇聚，一起调节人体某一项生理活动，这部分结构被称为神经中枢。而工业物联网本质上是智能制造的神经中枢，作为神经中枢，它具有以下特征。

一、复杂性

社交 APP 设计理念不能直接用于工业。人的生活需求有共性，但工业设备的应用多



元且复杂，不同环境、行业、产品和应用需求组合出千姿百态的工业设备应用场景，这些场景正是用户内心需求的折射。在符合质量要求的前提下，需要从核心元件、材料、造型等多个方面，差异化地设计设备产品，以满足用户的最终需求。同时，从数据流空间看，设备自身产生包括主流数据在内的多个物理量传感器采集的数据，还有状态数据为上述主流数据保驾护航；从时间来看，根据不同时间段采样频率不同，实时数据再产生大量数据。所以在整个制造过程中，要形成与各生产环节无缝对接的数据平台，这反映出工业物联网的复杂性。

大数据收集、清理、分析、计算、运用等多个环节，都反映出“工业物联网是神经中枢”。数据反馈信息呈现出“痛点”“痒点”“无关紧要的部分”和“隐隐作痛之处”，需要“大脑”对这些智能化需求进行明确的分析和判断，这既超越技术的范畴，又超越了产品本身的范畴，是工业物联网作为神经中枢的本质反映。

二、反射性

根据终端用户不同的需求来反向优化工业设备设计，这既包括在硬件上增加其他传感器对数据的采集，又包括改善设备自身，更包括硬软件结合，由“硬”变“软”，从而使设备逐步走向智能化。这个进程中须重点把握物联网反射性，根据终端反射来完善物联网方案，要注意去除伪需求，紧抓小数据，挖隐性需求，从满足用户需求走向引导用户需求，贯彻从以用户为中心到以人性为中心的物联网开发理念。

在大数据分析中，必须强调数据分析源于用户需求且必将回归到满足用户需求。不论是终端商还是设备商、元件商，都需要向其强调，物联网是不断反射的，是双向但多面的，它对数据进行收集、清理、分析，并交流缝合，最终形成有效、严谨的数据流，这是物联网在多次反射下不断修正的结果。

三、中枢性

由工业物联网来牵引、调节、控制方向，企业产品从自动化到智能化，企业发展从产品走向平台，企业内涵从有形走向无形，企业设备从硬件走向大数据，最终将稳步迈向工业4.0。人工智能、传感技术、云计算、区位链、边缘计算、机器学习、自动控制等都围绕工业设备智能化，而物联网将上述功能运用于“数据双胞胎”，影响了整个智能制造过程。从硬件自身、数据采集、发射、云端储存到落地，任何智能化的方向，都要通过物联

网来牵引、调节、控制；而根据落地的应用，设备又反射到生态系统中的不同行业、不同制造商、不同产业链节点、不同平台上，共同推进智能制造，从而让物联网在统一构架（OPC）和时间敏感网络（TSN）中发挥中枢作用，带动终端用户提升设备的使用效率，延长设备寿命，减少设备总体成本和待机时间，延长设备产品链，提高设备价值和创造新的数字商业模式，真正发挥物联网价值。

工业物联网是智能制造的神经中枢，是工业 4.0 的核心内容之一，它在智能制造中具备复杂性、反射性和中枢性。它关注数字化改造，真正目的在于提升用户价值，并在推进智能制造进程中，焕发出蓬勃的生命力。

第四节 工业物联网当下难点与突破思路

工业物联网应用目前正处在发展初期，不管是实体巨头还是互联网大佬都还在摸索。工业物联网发展之所以步履艰难，关键在于工业物联网不同于互联网，其发展过程面临着与工业实体结合难、行业壁垒高、大数据与分析碎片化、分析后价值落地难等一系列问题，这些问题导致工业物联网叫好不叫座，热度尽管很高，但持续推进艰难。

一、工业物联网发展艰难的主要原因

一是物联网平台运营主体难以独立成网。如果是设备制造商直接构建物联网平台，其企业数据可以自成体系，但难以成为行业平台。原因在于行业平台必然会涉及竞争性企业的核心资产，竞争企业自然不愿分享，也不可能真正成为平台上的成员。

如果是软件或互联网企业搭建平台，则必须与各行业的企业联手，这又难以解决软件或互联网企业对合作行业缺乏深入了解的问题，其待开发的产品不仅仅涉及软件，还有硬件、行业装备和后期的数据、应用等，都必须准确捕捉终端用户的需求点，实现跨界融合，这本身就是很大的难题。更关键的是，一旦工业物联网形成，核心的双方关系要转化为战略型关系，具有一定的排他性，这就会制约平台的发展与扩容，势必难以做大而成为真正的行业平台。

如果是传感器企业或者其他核心配件企业建设平台，其难点在于与设备厂商如何形成战略关系，如何处理与其他非战略关系客户的关系，以及如何与设备制造商一起深挖终



端用户需求。

因此，当物联网产业链上的节点企业成为平台建设的主体时，意味着企业发展战略面临巨大挑战，其过程是一场革命，领导者没有持久的毅力、充裕的资金、长远的眼光、强大的团队，以及超凡的领导力，则无法顺利建成和持久运营。

二是工业物联网的变革性。从产品和技术角度看，无论是边缘计算还是平台即服务(PaaS)，无论是数据样本来源还是数据分析提炼，都不存在难以攻克的技术壁垒，核心问题是产业链数据能否开放、开放后价值能否实现、是否有足够的收入、能否产生利润、市场容量是否足够大等。

从运营和操作角度看，工业物联网不同于互联网，没有信息流程接近零的边际成本这个“红利”，它必须依靠工业装备来构建。传统设备智能化需要不同类型设备根据终端现场的场景来改进。如果没有足够的市场需求差异化产生的收入，会增加设备厂商或平台商前期投入的风险。平台商既要行业的容量，又要与行业龙头企业合作，这本身是个难点。一旦进入工业物联网平台，平台商必须要有足够的企业生态建设能力，这即使在充分发育的市场中也是个难点。因此工业物联网平台建设对平台商要求极高，如果没有充分准备，没有战略平衡、生态建设能力，则发展必然极为困难。

三是工业物联网应用的碎片化及其与实体经济融合的长期性。一方面传统互联网企业擅长提供消费品和服务，但无法应对工业生产体系，尤其是对工业装备的复杂性、行业性、场景性缺乏了解，这导致其难以与工业物联网结合。传统工业企业还处于从工业 2.0 走向工业 3.0 的过程中，要一步跨越到工业 4.0 几乎不可能。对很多企业而言，必须先完成工业装备自动化后才能考虑工业物联网；对于行业而言，这就意味着要等待工业自动化基本结束后才有可能迈入工业物联网时代。不管互联网技术和业务在消费服务领域中被应用得多么熟练，根据“中国制造 2025”的目标，中国到 2025 年基本实现工业化，此后还要等待至少七八年，才可能迎来工业物联网初具雏形。另一方面，即使两者能够融合，工业物联网平台公司不仅仅需要在大数据构建、无线模组、数据库建造上得心应手，还必须在传统设备智能化改造尤其是多物理量传感器选型、大数据准确性研究、产品生命周期研究、产品设计优化反馈和在线检测服务上不出差错，更重要的是在商业模式包括终端与设备商、设备商与工业物联网平台公司间盈利分配上设计出可行方案，消除各方利益分配不均导致的障碍，实现长期合作。

二、工业物联网是未来发展方向

一是保持定力，敏锐观察，做好垂直产业链物联网应用优秀示范平台项目。在行业选择上，尽可能寻找如环境机械在线检测、衡器称重数据防作弊、医疗设备数据管理、海工装备环境测控、冶炼装备质量监控、化工机械设备安全测量等项目，再在传统设备上加上多种“物理量传感器+无线发射仪器”，将其改造为智能化装备。需要强调的是工业物联网不是基于传统设备，不是将已有设备修修补补，而是与传统工业企业共同商讨物联网顶层设计后按既定设计全面改造设备。工业物联网平台公司人员不仅仅需要懂得后端的信息化、数字化技术，还要能反推前端智能化、自动化技术及行业装备特性。因此我们必须保持定力，对行业装备进行一个一个挖掘，尤其要对行业装备未来发展趋势和装备高端化发展方向了如指掌。同时，要和工业装备实业企业形成长期战略合作关系，既要说服鼓励合作方加入，又要共担风险，将智能化改造运营成本与设备高端化利润相配比，让设备厂家敢于投入；既要研究设备服务费用与物联网的价值挖掘，又要让设备厂家延长价值链解决设备服务费用来源问题，不至于让投入成为负担。工业物联网平台公司的发展与其说是产品和技术的突破，不如说是行业的再定义。

二是攻坚克难，坚定不移，整合利用工业物联网平台资源。首先，工业物联网平台公司必须抓住几个垂直产业链现已产出的业务，将其收入作为“压舱石”，通过自身或者合作方的现有资源，建设大数据库和大数据公司，利用现有技术，新建传感器供应链平台、人工智能中心、物联网创新中心，以及八个平台（测试、网络安全、论坛、供需、产业、投资、孵化、人才），结合每个行业情况进行设备智能化改建，并对现有各类资源加以利用，尽可能让这些固定成本分摊最小化，这样，工业物联网平台公司才能生根发芽。

其次，工业物联网平台公司要利用好政府各类资源及政策，如智能政务项目，“中国制造 2025”本地及国内其他地区政策。工业物联网平台公司前期所获的政府资助和中后期所获的运营资源，不仅要体现企业经济效益，还要呈现社会进步和产业结构调整。

再次，工业物联网平台公司要将政府政策垂直产业链、平台链、公共服务平台、产业园区，以及物联网小镇等多种资源叠加，从产出端建立质量与工艺优化、设计反馈与迭代、能耗管理、设备选型与制造服务业发展、设备生命周期研究，以及云工厂和空闲产能结合等多个示范项目，从而引领物联网项目逐步落地。

最后，要善于发挥产业链的各项资源所长，运用第三方服务、战略联盟、股权合作、产业订单和供应链协作等多种合作方式，把各方资源汇聚，通过运行政府和社会资本合作（PPP）、租赁、辅导机构项目，以及创新债券转换、垫资合同管理、生态圈企业抱团合作



等多种商业模式进行市场开拓。

二是坚定信念，强化顶层设计，把工业物联网发展作为产业革命的核心路径建设好。设备制造商进行工业物联网顶层设计时，必须要有转型升级的理念和高屋建瓴的勇气，当传统制造业在自动化水准达到一定程度后，须进行战略重塑，包括组织机构和人力资源管理，强调市场需求、洞察新生代人才动向，大胆起用“80后”“90后”新一代管理人员。做业务不是“一锤子买卖”，而是一个培养长期合作伙伴、培育新型客户关系的过程，我们与客户合作，不仅仅是设备销售方面的合作，更是企业信息化的合作。根据客户的能力和终端用户不同需求痛点进行产品设计，包括软件、服务和业务模式等，同时对企业研发体系提出更高的要求，不仅要按照客户要求设计，还要在使用产品的过程中对设计进行反向优化。只有把物联网设备的价值不断呈现于终端应用场景，才能让物联网拥有不竭的生命力。

每个行业设备都离不开八个产品节点（材料、传感器及仪表、无线模组、数据库、大数据分析、装备、应用、服务），但是，企业必须基于设备在终端市场创造价值的出发点，对八个产品节点进行不同的产品设计。无论是硬件还是软件，都必须来源于终端市场需求，且回归于终端市场需求。面上的资源是相似的，点上的资源必须根据终端市场要求来创新设计，从而创新商业模式。

工业物联网体系架构

面向工业数字化、网络化、智能化需求，以 OT 和 IT 融合为核心，在研发设计、生产制造、运营管理以及服务运维等关键环节，通过自主感知数据采集、学习、分析和决策闭环，支撑工业资源泛在连接、弹性供给、高效配置，从而构建服务驱动型的新工业生态体系。工业物联网作为 OT 与 IT 融合的具体实现，智能制造和工业 4.0 的重要使能技术和关键实现路径，需要完整的体系架构支撑，以实现上述目标。本章将介绍工业物联网体系架构的发展过程，从工业物联网感知、边缘计算、网络连接、平台再到应用，探讨工业物联网体系构建过程中的效率和投入问题，并对工业物联网技术发展趋势进行分析。

第一节 体系架构的业务视角分析

近几年，随着云计算商业模式的成熟以及被企业广泛接受，工业物联网逐步从传统数据中心本地化部署，发展到基于云原生的架构及公有云、私有云和混合云多种部署模式，数据采集的深度从物联网数据拓展到运营数据、运维服务数据，数据采集的广度从工厂级拓展到企业级甚至供应链上下游。

数据方面，更加强调深度分析、洞察，以指导下一步行动。有了机理模型和数据模型的结合以及海量大数据计算能力，数据驱动变得不再遥远。伴随着这些趋势，工业物联网体系架构也经历了一些变化。例如从简单的“感知层—网络层—平台层”，到边缘计算的兴起，某些场景增加了边缘节点对数据的就近处理；云计算的普及让 PaaS 有了通用 PaaS 和工业 PaaS 之分；人工智能应用于工业场景，于是有了数据模型研究。基于 OT 和 IT 的打通、融合，以及工业物联网支撑体系的加持。

整个体系架构从下至上，包括感知层、网络连接、平台层和应用层。感知层负责数据采集，是工业物联网体系的数据源泉，利用泛在感知技术对多源设备、异构系统、运营环境、智能产品等各种要素进行信息采集，对异构数据进行协议转换，必要时进行即时处