中国轻工业“十三五”规划教材

物联网工程专业系列教材

物联网导论

（第三版）

主　编　张翼英

副主编　张素香　梁　琨



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

中国轻工业“十三五”规划教材

物联网工程专业系列教材

物联网导论

（第三版）

主　编　张翼英

副主编　张素香　梁　琨

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书紧密追踪物联网最新技术发展与典型应用，结合互联网+、云计算、大数据等技术，从基础知识、关键技术到典型应用，全方位阐述物联网的现状、关键技术及部分典型应用。全书共 13 章。第 1 章阐述物联网的发展背景、定义、特征及发展趋势；第 2 章至第 4 章从物联网感知层出发，分别介绍物联网识别技术（RFID）、物联网传感技术以及物联网智能视觉技术；第 5 章从物联网传输层出发，主要介绍支撑信息传输的关键通信技术；第 6 章从应用层出发，详细介绍大数据、云计算、物联网定位等应用技术；第 7 章介绍物联网安全技术；第 8 章至第 13 章主要介绍智能交通、智能家居、智能物流、智能诊疗等物联网典型应用。

本书适合作为高等院校物联网及相关专业学生的教材和参考书，也适合作为物联网技术相关研究人员、企事业单位相关专业人员进行物联网工作的重要参考资料。

本书配有电子教案，读者可以从中国水利水电出版社网站和万水书苑免费下载，网址为：http://www.waterpub.com.cn/softdown/和 http://www.wsbookshow.com。

图书在版编目（CIP）数据

物联网导论 / 张翼英主编. -- 3版. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2020.2
中国轻工业“十三五”规划教材. 物联网工程专业系列教材
ISBN 978-7-5170-8428-0

Ⅰ. ①物… Ⅱ. ①张… Ⅲ. ①互联网络－应用－高等学校－教材②智能技术－应用－高等学校－教材 Ⅳ. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第027442号

策划编辑：石永峰　　责任编辑：高　辉　　加工编辑：周益丹　　封面设计：李　佳

书　名	中国轻工业“十三五”规划教材 物联网工程专业系列教材 **物联网导论（第三版）** WULIANWANG DAOLUN
作　者	主　编　张翼英 副主编　张素香　梁　琨
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座　100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：mchannel@263.net（万水） sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）、82562819（万水）
经　售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　版	北京万水电子信息有限公司
印　刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规　格	184mm×260mm　16 开本　19.75 印张　487 千字
版　次	2012 年 8 月第 1 版　2012 年 8 月第 1 次印刷 2020 年 2 月第 3 版　2020 年 2 月第 1 次印刷
印　数	0001—3000 册
定　价	49.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有 · 侵权必究

第三版前言

物联网（Internet of Things，IoT）是通过信息传感设备，按照约定的协议，把物品与互联网连接起来，进行信息交换及通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。它是在互联网基础上延伸和扩展的网络。随着 5G、低功耗广域网等基础设施加速落地，物联网技术与应用得到迅猛发展。数以万亿的新设备、感知终端接入网络并产生海量数据，人工智能、边缘计算、区块链等新技术加快与物联网结合，极大促进了物联网与各个行业的跨界融合，各种创新应用层出不穷，物联网的生态构建、产业发展及技术创新快速发展。

随着我国“互联网+”“智能+”等战略提出，互联网企业、传统行业企业、设备商、电信运营商等全面加入物联网产业，产业生态初具雏形，连接技术不断突破，NB-IoT、eMTC、Lora 等低功耗广域网全球商用化进程不断加速。在感知层面，各类终端持续向多功能、智能化发展；在传输层面，各类通信技术不断创新落地，网络基础设施迅速完善，物联网从碎片化逐渐互联互通；在应用层方面，大数据、人工智能、区块链等技术迅猛发展，各类应用不断涌现。

本书汇集了十余名相关专业的博士和专家，结合各自在物联网相关领域的理论研究和实践，从物联网关键技术和典型应用两方面全方位阐述了物联网的发展现状及关键技术，全书共 13 章。

第 1 章阐述物联网的发展背景、定义、特征以及发展趋势，深入分析物联网体系架构，并分别对欧美、日韩和中国等国内外物联网的发展进程、主要研究和实践情况进行介绍。

第 2 章介绍物联网识别技术。主要对射频识别（RFID）技术进行详细介绍，包括 RFID 技术背景、原理、产品及中间件等。同时，对 RFID 安全隐私问题及 IPv6 等进行阐述。

第 3 章从物联网感知层出发，详细介绍物联网传感技术。包括传感器的构成、分类；传感网的自组网技术、协议体系、节点覆盖等理论、技术原理及应用。

第 4 章主要介绍物联网智能视觉技术。包括智能视觉技术的定义，智能视觉的分析、识别、改良技术以及智能视觉技术的典型应用。

第 5 章从物联网传输层出发，主要介绍支撑信息传输的关键通信技术，包括 ZigBee 技术、WLAN 技术、LiFi 技术、蓝牙技术等，以及低功耗广域网技术（NB-IoT 等）、广域网通信技术及卫星、光纤通信技术等。

第 6 章从应用层出发，主要介绍大数据、云计算、物联网定位等应用技术。

第 7 章介绍物联网安全技术，主要从物联网三个层次的安全威胁、安全技术及相关案例进行详细阐述。

第 8 章至第 13 章主要介绍智能交通、智能家居、智能物流、智能医疗等物联网典型应用。

本书由张翼英任主编，张素香、梁琨任副主编。张翼英负责全书统筹再版工作并参与全部章节编写。张素香、梁琨对全书进行了审校。

具体编写分工如下：第 1 章由张翼英任编写，第 2 章由梁琨、阎宏艳、侯琳、张翼飞编写，第 3 章由袁仲云、韦然、李温静编写，第 4 章由吴超、胡志强编写，第 5 章由张爱华、

张素香、何业慎编写；第 6 章由梁琨、侯荣旭、张翼英编写，第 7 章由王聪、张翼英、高德荃、朱少敏编写；第 8 章由郭庆雷、史艳翠、张亚男编写，第 9 章由杨美艳、刘柱、何业慎、吴庆编写；第 10 章由张茜编写，第 11 章由马兴毅、陈亚瑞、李冰编写，第 12 章由张素香、张翼英、甄岩编写，第 13 章由张波、曾令康、廖逍、张喆编写。同时，刘飞、庞浩渊、刘松、阮元龙、尚静、王鹏凯、周保先、刘晶晶等同学为本书的编写做了一定的工作。

感谢中国水利水电出版社在本书出版过程中给予的大力支持，感谢石永峰编辑的帮助。感谢西安电子科技大学杨清海博士、山东大学孙丰金博士等对本书提出的宝贵意见，使我们受益匪浅。

希望本书能够对关心物联网技术和产业发展的各级领导和行业监管部门、高校师生，以及产业链相关领域的从业人员、投融资人士等都能有所裨益，为我国物联网产业发展添砖加瓦。由于笔者水平及时间所限，各位编者编写风格各异，书中难免有不足之处，恳请专家和读者批评指正。

编　者

2019 年 8 月

第一版前言

物联网（Internet of Things，IoT）是通过信息传感设备，按照约定的协议，把物品与互联网连接起来，进行信息交换及通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。它是在互联网基础上延伸和扩展的网络。物联网以感知设备、智能设备为基础实现对现实世界的全面感知；以互联网为核心，通过各种通信技术实现感知信息及控制信息等的可靠传输；以海量存储技术、云计算技术等各种数据处理技术实现智能应用。通过物联网，可以实现人与客观世界的有效交互。

物联网已成为当前世界新一轮经济和科技发展的战略制高点之一，是各国进行经济社会发展新模式和重塑国家竞争力的先导领域。随着各国通过国家战略导引、政策支持、技术研发、企业推进等，物联网技术及物联网产业得到迅速发展和广泛应用。我国已经具备一定的物联网应用、技术和产业基础，在《物联网“十二五”发展规划》（工信部，2012）中提出，在重点领域开展物联网应用示范工程，探索物联网应用模式，积累物联网应用部署和推广的经验和方法，形成一系列成熟的可复制推广的物联网应用模板，为物联网在全社会、全行业的规模化推广做准备。其中，特别在智能工业、智能农业、智能物流、智能交通、智能电网、智能环保、智能安防、智能医疗、智能家居等领域进行重点应用示范工程建设。物联网已经从概念化阶段逐步落实，将逐步成为每个人都触手可及的应用实践。

本书由十余名相关专业的博士和专家，结合各自在物联网相关领域的理论研究和实践，从物联网关键技术和典型应用两方面全方位阐述了物联网的发展现状、关键技术及其典型应用，全书共分 11 章。

第 1 章首先阐述物联网的发展背景、定义、特征以及物联网安全等概念，并对物联网体系架构进行深入分析。最后，分别对欧美、日韩和中国等国内外物联网的发展进程、主要研究和实践情况进行介绍。

第 2 章介绍物联网识别技术，主要对射频识别技术（RFID）进行详细介绍，包括 RFID 技术背景、原理、产品及中间件等。同时，对 RFID 的典型应用进行了介绍。

第 3 章从物联网感知功能出发，详细介绍了传感网及 GPS 技术，包括传感网的自组网技术、协议体系、节点覆盖等理论以及 GPS 技术原理及应用。

第 4 章主要介绍物联网智能视频技术，包括智能视频技术的定义，智能视频的分析、识别、改良技术以及智能视频技术的典型应用。

第 5 章从物联网传输层出发，主要介绍支撑传输层的信息通信技术，包括 ZigBee 技术、WLAN 技术、蓝牙技术等，以及广域网通信技术，如 3G、4G 技术。

第 6～11 章主要介绍物联网应用层的关键技术及典型应用。关键技术如云计算技术、中间件技术、海量数据存储技术等；典型应用包括智能电网、智能家居、智能建筑、智能交通、智能物流、智能医疗等。

本书由张翼英博士、杨巨成博士、李晓卉博士及张茜博士共同负责撰写。其中，张翼英博士负责全书的组织并参与第 1、3、6 章的编写；杨巨成博士、李晓卉博士及张茜博士分别

参与部分章节的编写。张翼英博士、杨巨成博士和李晓卉博士对全书进行了审校。

具体分工为：第 1 章由张翼飞博士、张翼英博士编写，第 2 章由宿浩茹博士、张翼飞博士编写，第 3 章由韦然博士、张翼英博士编写，第 4 章由张茜博士编写，第 5 章由杨巨成博士、兰芸编写，第 6 章由李晓卉博士、张翼英博士编写，第 7 章由丁月民博士、李晓卉博士编写，第 8 章由吕淑贤博士编写，第 9 章由王卫杰博士编写，第 10 章由张茜博士编写，第 11 章由马兴毅博士、游学秋博士编写。

同时，感谢中国水利水电出版社在本书出版过程中给予的大力支持，感谢石永峰编辑的帮助。感谢西安电子科技大学杨清海博士，山东大学孙丰金博士，韩国高丽大学贾琼博士、西莎博士、朱丽晶博士，韩国汉阳大学段权珍博士等对本书提出的宝贵评审意见，使我们受益匪浅。此外，感谢王奔、吴军军、孙超、钟青、付鹏、江东升等对本书撰写所做的工作。

希望本书能够对关心物联网技术和产业发展的各级领导和行业监管部门、高校师生，以及产业链相关各领域的从业人员、投融资人士等读者有所裨益，能够为我国物联网产业发展添砖加瓦。

由于笔者水平及时间所限，各位作者写作风格各异，书中难免会有局限和诸多不足之处，欢迎广大专家和读者不吝指正。

作 者

2012 年 4 月

目　　录

第三版前言

第一版前言

第 1 章　物联网概述 …… 1

1.1　物联网的概念 …… 1

1.1.1　物联网发展背景 …… 2

1.1.2　物联网的定义 …… 3

1.1.3　物联网的特征 …… 4

1.1.4　物联网应用范围 …… 5

1.2　物联网体系结构 …… 7

1.2.1　感知层 …… 7

1.2.2　网络层 …… 8

1.2.3　应用层 …… 9

1.2.4　物联网安全 …… 11

1.3　国际物联网发展现状 …… 14

1.3.1　美国 …… 14

1.3.2　欧盟 …… 15

1.3.3　日韩 …… 17

1.4　我国物联网的现状与展望 …… 18

1.4.1　发展状况 …… 18

1.4.2　存在的问题 …… 20

1.4.3　实践与展望 …… 21

第 2 章　物联网识别技术 …… 23

2.1　RFID 技术概述 …… 23

2.1.1　RFID 技术简介 …… 23

2.1.2　RFID 技术的背景 …… 23

2.1.3　RFID 系统的组成 …… 24

2.1.4　RFID 系统的分类 …… 25

2.2　RFID 读写器 …… 26

2.2.1　读写器概述 …… 26

2.2.2　读写器的工作原理 …… 27

2.2.3　读写器的组成结构 …… 28

2.2.4　读写器的种类 …… 29

2.2.5　读写器的发展前景 …… 31

2.3　电子标签 …… 31

2.3.1　电子标签的组成结构 …… 32

2.3.2　电子标签的分类 …… 34

2.3.3　电子标签的发展趋势 …… 35

2.4　中间件 …… 36

2.4.1　中间件的功能及实现原理 …… 36

2.4.2　中间件的系统架构 …… 36

2.5　RFID 技术的标准 …… 37

2.5.1　RFID 系统技术标准概述 …… 37

2.5.2　ISO 标准体系 …… 38

2.5.3　EPC Global 标准体系 …… 40

2.5.4　我国的标准体系 …… 40

2.6　RFID 系统的安全隐私 …… 41

2.6.1　RFID 系统的安全问题及策略 …… 41

2.6.2　RFID 电子标签的安全问题和解决方案 …… 42

2.6.3　RFID 系统的隐私数据保护 …… 44

2.7　RFID 与 IPv6 …… 45

第 3 章　物联网传感技术 …… 46

3.1　传感器概述 …… 46

3.1.1　传感器的概念 …… 46

3.1.2　传感器的组成 …… 48

3.1.3　传感器的分类 …… 48

3.1.4　传感器的特性 …… 49

3.1.5　传感器的具体实例 …… 50

3.1.6　传感器技术的发展趋势 …… 52

3.2　传感网概述 …… 52

3.2.1　传感网概念 …… 52

3.2.2　传感网协议体系结构 …… 54

3.2.3　传感网拓扑结构 …… 56

3.3　传感网的关键技术与节点部署 …… 58

3.3.1　传感网的关键技术 …… 58

3.3.2　传感网的节点技术 …… 60

3.3.3 传感网的节点部署 …… 61
3.3.4 传感网覆盖 …… 61
3.3.5 连接与节能 …… 62
3.4 无线传感网 …… 62
3.4.1 无线传感网概述 …… 62
3.4.2 无线传感网的应用领域 …… 64
3.4.3 无线传感网节点设计主要原则 …… 64
第 4 章 物联网智能视觉技术 …… 66
4.1 智能视觉技术综述 …… 66
4.1.1 智能视觉技术研究内容 …… 67
4.1.2 物联网与智能视觉技术 …… 67
4.1.3 智能视觉技术硬件架构 …… 68
4.1.4 智能视觉技术的应用前景 …… 69
4.2 智能视觉核心技术 …… 70
4.2.1 智能视觉分析技术 …… 70
4.2.2 智能视觉识别技术 …… 77
4.3 智能视觉的典型应用 …… 83
4.3.1 公交车载视频监控系统 …… 83
4.3.2 智能机场安防监控系统 …… 84
第 5 章 物联网通信技术 …… 86
5.1 短距离无线通信技术 …… 86
5.1.1 蓝牙技术 …… 86
5.1.2 ZigBee 技术 …… 91
5.1.3 WiFi 技术 …… 93
5.1.4 LiFi 技术 …… 96
5.2 低功耗广域网技术 …… 99
5.2.1 LoRa 技术 …… 99
5.2.2 SigFox 技术 …… 101
5.2.3 RPMA 技术 …… 103
5.2.4 NB-IoT 技术 …… 104
5.2.5 eMTC 技术 …… 106
5.3 卫星通信技术 …… 107
5.3.1 卫星通信系统 …… 107
5.3.2 卫星移动通信技术 …… 108
5.4 光纤通信技术 …… 110
5.4.1 PDH 技术 …… 110
5.4.2 SDH 技术 …… 110
5.4.3 OTN 技术 …… 112
5.4.4 光纤通信技术在物联网中的应用 …… 112
第 6 章 物联网应用技术 …… 113
6.1 大数据及其相关技术 …… 113
6.1.1 大数据概述 …… 113
6.1.2 数据仓库 …… 119
6.1.3 数据挖掘 …… 120
6.1.4 数据可视化 …… 121
6.2 云计算及其相关技术 …… 124
6.2.1 云计算概述 …… 125
6.2.2 云计算平台 …… 127
6.2.3 云服务 …… 129
6.2.4 云计算的安全 …… 130
6.3 物联网定位技术 …… 132
6.3.1 定位与位置服务 …… 132
6.3.2 无线定位系统 …… 133
6.3.3 卫星定位系统 …… 135
6.3.4 蜂窝定位系统 …… 138
6.4 人工智能技术 …… 139
6.4.1 人工智能的发展 …… 139
6.4.2 人工智能的研究与应用 …… 140
第 7 章 物联网安全技术 …… 142
7.1 物联网安全基础 …… 142
7.1.1 物联网安全概述 …… 142
7.1.2 物联网安全特征 …… 143
7.1.3 物联网安全技术 …… 144
7.1.4 物联网安全体系结构 …… 146
7.2 物联网感知层安全 …… 147
7.2.1 物联网感知层的安全威胁 …… 147
7.2.2 物联网感知层安全技术 …… 147
7.3 物联网网络层安全 …… 153
7.3.1 物联网网络层的安全威胁 …… 153
7.3.2 物联网核心网安全典型安全防护系统部署 …… 153
7.4 物联网应用层安全 …… 156
7.4.1 物联网应用层安全威胁 …… 156
7.4.2 物联网云计算安全技术 …… 157
7.4.3 区块链技术增强物联网安全应用前景 …… 159
7.5 物联网安全案例 …… 161
7.5.1 美国 DNS 服务遭 DDos 攻击 …… 161

7.5.2 乌克兰电网遭到攻击案例 …… 162
7.5.3 心脏出血漏洞 …… 163
7.5.4 高级持续性威胁 …… 163
第 8 章 智能交通 …… 165
8.1 智能交通系统 …… 166
8.1.1 智能交通的定义及发展 …… 166
8.1.2 智能交通的主要特征 …… 168
8.1.3 智能交通系统的体系结构 …… 171
8.1.4 智能交通系统的关键技术 …… 179
8.2 基于 LBS 的智能交通系统 …… 184
8.2.1 相关概念 …… 185
8.2.2 体系架构 …… 186
8.2.3 LBS 在智能交通系统中的应用 …… 188
8.3 无人驾驶汽车 …… 190
8.3.1 无人驾驶汽车的概念 …… 190
8.3.2 无人驾驶汽车的体系结构 …… 191
8.3.3 典型的无人驾驶汽车 …… 192
8.3.4 无人驾驶汽车存在的问题 …… 194
8.4 电动汽车 …… 195
8.4.1 电动汽车的基础知识 …… 195
8.4.2 电动汽车的智能运营支撑系统 …… 196
8.4.3 电动汽车的发展趋势 …… 197
第 9 章 智能家居 …… 198
9.1 智能家居概述 …… 198
9.1.1 智能家居的定义 …… 198
9.1.2 智能家居的功能 …… 200
9.1.3 智能家居的特点 …… 202
9.2 智能家居的发展状况 …… 202
9.2.1 国外的发展状况 …… 203
9.2.2 我国的发展状况 …… 203
9.3 智能家居系统 …… 204
9.3.1 智能家居通信网络 …… 204
9.3.2 智能控制中心 …… 209
9.3.3 智能终端 …… 211
9.4 新技术下智能家居发展趋势 …… 213
9.4.1 云计算在智能家居中的应用 …… 213
9.4.2 人工智能在智能家居中的应用 …… 213
9.4.3 AR 技术在智能家居的应用 …… 214
第 10 章 智能物流 …… 215
10.1 物流信息化发展概述 …… 215
10.1.1 我国物流发展历程 …… 215
10.1.2 物联网技术对物流的影响 …… 217
10.1.3 物流发展趋势 …… 218
10.2 物联网在物流行业的典型应用 …… 219
10.2.1 应用历程 …… 219
10.2.2 典型行业应用 …… 221
10.3 智能物流发展趋势 …… 225
第 11 章 智能诊疗 …… 227
11.1 智能诊疗概述 …… 227
11.1.1 智能诊疗的概念和意义 …… 227
11.1.2 智能诊疗的主要特征 …… 230
11.1.3 智能诊疗的发展现状 …… 231
11.2 智能诊疗系统 …… 233
11.2.1 智能诊疗系统的整体框架 …… 233
11.2.2 智能诊疗系统的硬件 …… 234
11.2.3 智能诊疗系统的软件 …… 237
11.2.4 智能诊疗系统的生物组件 …… 242
11.3 医疗信息化 …… 245
11.3.1 医疗信息化发展背景 …… 245
11.3.2 医疗信息系统的结构 …… 245
11.3.3 医疗信息系统的基本功能 …… 247
11.4 智能诊疗应用实例 …… 248
11.4.1 传染病人及传染物的监控 …… 248
11.4.2 婴儿防盗识别系统 …… 250
11.4.3 远程医疗 …… 252
11.5 智能诊疗发展趋势 …… 253
第 12 章 智能电网 …… 255
12.1 智能电网概述 …… 255
12.1.1 智能电网的定义 …… 256
12.1.2 智能电网的建设目标 …… 256
12.1.3 泛在电力物联网支撑我国电力系统发展 …… 257
12.2 智能电网应用中的关键技术 …… 258
12.2.1 主要通信技术 …… 259
12.2.2 电力云 …… 263
12.2.3 电力物联网信息安全防护 …… 265
12.3 电力设施防护系统 …… 265
12.3.1 总体架构 …… 265

12.3.2 网络拓扑结构 …… 266
12.3.3 平台功能设计 …… 267
12.3.4 实施效果 …… 268
12.4 电力设备移动巡检系统 …… 269
12.4.1 系统功能设计 …… 270
12.4.2 系统网络结构 …… 270
12.4.3 功能设计 …… 271
12.5 输电线路在线监测系统 …… 271
12.5.1 总体介绍 …… 272
12.5.2 实施原则及应用范围 …… 274
12.5.3 网络拓扑结构 …… 274
12.5.4 系统功能 …… 274
第 13 章 智能建筑 …… 277
13.1 智能建筑概述 …… 277
13.1.1 基本概念 …… 278
13.1.2 发展现状 …… 279
13.1.3 国内设计标准 …… 280
13.1.4 特点和优势 …… 282
13.2 智能建筑的组成和基本功能 …… 283
13.2.1 智能建筑的组成 …… 283
13.2.2 智能建筑的主要功能 …… 285
13.3 智能建筑的基本要求和系统建设 …… 287
13.3.1 智能建筑的基本要求 …… 287
13.3.2 系统建设 …… 288
13.4 智能建筑的发展趋势 …… 291
13.4.1 “互联网+”催生智能化建筑 …… 291
13.4.2 与建筑信息模型技术的结合应用 … 292
13.4.3 与绿色生态建筑相结合 …… 293
13.5 智能建筑应用案例 …… 294
参考文献 …… 302

第 1 章　物联网概述



物联网（Internet of Things，IoT）是通过信息传感设备，按照约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网以感知设备、智能设备为基础实现对现实世界的全面感知；以互联网为核心，通过各种通信技术实现感知信息及控制信息等的可靠传输；以海量存储技术、云计算技术等各种数据处理技术实现智能应用。通过对感知数据进行计算、处理和知识挖掘，实现人与物、物与物的信息交互和无缝链接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

本章我们将学习以下内容：

- 物联网基础知识
- 物联网特征及体系架构
- 物联网发展状况

物联网（Internet of Things，IoT）作为新一代信息通信技术的典型代表，已成为全球新一轮科技革命与产业变革的核心驱动和经济社会绿色、智能、可持续发展的关键基础与重要引擎。近几年，由于通信技术快速发展和智能设备推陈出新，极大地促进物联网产业的发展。全球物联网正从碎片化、孤立化的典型性应用转变为示范性、可推广新阶段。尤其伴随“互联网+”的提出，物联网及其相关市场快速启动，在诸多领域加速渗透，物联网逐步走向大规模爆发式增长。物联网已成为当前世界新一轮经济和科技发展的战略制高点之一，是各国进行经济社会发展新模式和重塑国家竞争力的先导领域。随着各国通过国家战略导引、政策支持、技术研发、企业推进等，物联网技术及物联网产业得到迅速发展和广泛应用。我国已经具备一定的应用、技术和产业基础，在 2019 年《政府工作报告》明确提出深入开展“互联网+”行动，实行包容审慎，努力推动大数据、云计算、物联网广泛应用。工业和信息化部发布的《信息通信业发展规划物联网分册（2016—2020 年）》指出：“十三五”时期是我国物联网加速进入“跨界融合、集成创新和规模化发展”的新阶段，与我国新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化建设深度交汇，面临广阔的发展前景。另一方面，我国物联网发展又面临国际竞争的巨大压力，核心产品全球化、应用需求本地化的趋势更加凸显，机遇与挑战并存。物联网将进入万物互联发展新阶段，智能可穿戴设备、智能家电、智能网联汽车、智能机器人等数以万亿计的新设备将接入网络，形成海量数据，应用呈现爆发性增长，促进生产生活和社会管理方式进一步向智能化、精细化、网络化方向转变，经济社会发展更加智能、高效。

1.1　物联网的概念

物联网（Internet of Things，IoT），通俗地讲就是物理世界中物物互连的互联网。物联网

的核心仍然是互联网，是在互联网基础上的延伸和扩展的网络，通过网络连接，搭建物与物、人与物等直接的交流通道；通过配置在感知对象的感知设备（如标签、传感器、智能设备等），将用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间，对现实世界进行感知；通过智能设备对感知对象的识别、反馈其状态等，进行信息交换、通信和智能处理。

1.1.1 物联网发展背景

物联网的说法最早出现于比尔·盖茨 1995 年《未来之路》一书，在《未来之路》中，比尔·盖茨已经提及 Internet of Things 的概念，但是由于当时感知设备、智能设施以及网络技术发展限制，并没有得到广泛认可。1998 年，美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology，MIT）提出了当时被称作 EPC（Electronic Product Code，产品电子代码）系统的“物联网”的构想。

物联网概念最早于 1999 年由美国麻省理工学院提出，早期的物联网是指依托射频识别（Radio Frequency IDentification，RFID）技术和设备，按约定的通信协议与互联网相结合，使物品信息实现智能化识别和管理，实现物品信息互联而形成的网络。随着技术和应用的发展，物联网内涵不断扩展。现代意义的物联网可以实现对物的感知识别控制、网络化互联和智能处理有机统一，从而形成高智能决策。

日本在 2004 年提出了 u-Japan 战略，即建设泛在的物联网，并服务于 u-Japan 及后续的信息化战略。2004 年，韩国提出为期十年的 u-Korea 战略，目标是“在全球最优的泛在基础设施上，将韩国建设成全球第一个泛在社会”。2009 年，韩国通过了《基于 IP 的泛在传感器网基础设施构建基本规划》，将物联网确定为全国重点发展战略。

2005 年 11 月，在突尼斯举行的信息社会世界峰会（World Summit on the Information Society，WSIS）上，国际电信联盟发布了《ITU 互联网报告 2005：物联网》，引用了“物联网”的概念。报告指出，无所不在的“物联网”通信时代即将来临，世界上所有的物体从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过因特网主动进行交换。射频识别（RFID）技术、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。

此时，物联网的定义和范围已经发生了变化，覆盖范围有了较大的拓展，不再只是指基于 RFID 技术的物联网。根据国际电信联盟（ITU）的描述，在物联网时代，通过在各种各样的日常用品上嵌入一种短距离的移动收发器，人类在信息与通信世界里将获得一个新的沟通维度，从任何时间任何地点的人与人之间的沟通连接扩展到人与物和物与物之间的沟通连接。物联网概念的兴起，很大程度上得益于国际电信联盟 2005 年以物联网为标题的年度互联网报告。然而，国际电信联盟的报告对物联网缺乏一个清晰的定义。

2008 年底，IBM 向美国政府提出了“智慧地球”的战略，强调传感等感知技术的应用，提出建设智慧型基础设施，并智能化地快速处理、综合运用这些设施，使得整个地球上的物都“充满智慧”。由美国主导的 EPC Global 标准在 RFID 领域中呼声最高；德州仪器（TI）、英特尔、高通、IBM、微软则在通信芯片及通信模块设计制造上全球领先。

2009 年 6 月，欧盟委员会向欧盟议会、理事会、欧洲经济和社会委员会及地区委员会递交了《欧盟物联网行动计划》，其目的是希望欧洲通过构建新型物联网管理框架来引导世界物联网发展。有 8 个欧盟国家计划普及物联网，目的是让物联网为尽快摆脱经济危机做贡献。2009 年 9 月，欧盟发布《欧盟物联网战略研究路线图》，提出 2010、2015、2020 三个阶段物

联网研发路线图，并提出物联网在航空航天、汽车、医药、能源等18个主要应用领域，以及识别、数据处理、物联网架构等12个方面需要突破的关键技术。

2010年5月，欧盟提出《欧洲数字议程》，旨在通过物联网等技术抢占数字经济发展的制高点，该议程是《欧盟2020战略》的重要组成部分。欧盟提出了促进物联网发展的一些具体措施：严格执行对物联网的数据保护立法，建立政策框架使物联网能应对信用、承诺及安全方面的问题；公民能读取基本的射频识别（RFID）标签，并可以销毁它们以保护隐私；为保护关键的信息基础设施，把物联网发展成为欧洲的关键资源；在必要的情况下，发布专门的物联网标准化强制条例；启动试点项目，以促进欧盟有效地部署市场化的、相互操作性的、安全的、具有隐私意识的物联网应用；加强国际合作，共享信息和成功经验，并在相关的联合行动中达成一致等。

在我国，中科院早在1999年就启动了传感网研究，并在无锡成立了微纳传感网工程技术研发中心，在此之后，我国物联网的研究、开发和应用工作进入了高潮。目前我国已经拥有从材料、技术、器件、系统到网络的完整产业链，是世界上少数能实现物联网产业化的国家之一，国际标准制定的主导国之一。

我国就物联网发展做出了多项国家政策及规划，推进物联网产业体系不断完善。《物联网“十二五”发展规划》《关于推进物联网有序健康发展的指导意见》《关于物联网发展的十个专项行动计划》及《中国制造2025》等多项政策不断出台，并指出“掌握物联网关键核心技术，基本形成安全可控、具有国际竞争力的物联网产业体系，成为推动经济社会智能化和可持续发展的重要力量。”用工业物联网改造传统产业，必将提升产业的经济附加值，有力推动我国经济发展方式从生产驱动向创新驱动的转变，促进我国产业结构的调整。

1.1.2 物联网的定义

虽然目前对物联网还没有一个统一的标准定义，但从物联网本质上看，物联网是现代信息技术发展到一定阶段后出现的一种聚合性应用与技术提升，将各种感知技术、现代网络技术和人工智能与自动化技术聚合与集成应用，使人与物智慧对话，创造一个智慧的世界。因为物联网技术的发展几乎涉及信息技术的方方面面，是一种聚合性、系统性的创新应用与发展，也因此才被称为是信息产业的第三次革命性创新。

2005年，国际电气联盟（International Telecommunication Union，ITU）在 *The Internet of Things* 报告中对物联网概念进行了扩展，提出了任何时刻、任何地点、任意物体之间的互联，无所不在的网络和无所不在的计算的发展前景。报告认为物联网是在任何时间、环境，任何物品、人、企业、商业，采用任何通信方式（包括汇聚、连接、收集、计算等），以满足所提供的任何服务的要求。按照ITU给出的这个定义，物联网主要解决物品到物品（Thing to Thing，T2T）、人到物品（Human to Thing，H2T）、人到人（Human to Human，H2H）之间的互联。这里与传统互联网最大的区别是，H2T是指人利用通用装置与物品之间的连接，H2H是指人与人之间不依赖于个人计算机而进行的互联。需要利用物联网才能解决的是传统意义上的互联网没有考虑的，对于任何物品连接的问题。

2009年9月，欧盟提出了物联网的定义。欧盟认为物联网是未来互联网的一部分，能够被定义为基于标准和交互通信协议具有自配置能力的动态全球网络设施，在物联网内物理和虚拟的“物件”具有身份、物理属性、拟人化、使用智能接口并且无缝综合到信息网络中。

2010年我国的政府工作报告中对物联网有如下的定义：物联网是指通过信息传感设备，

按照约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。它是在互联网基础上延伸和扩展的网络。

因此，物联网是指通过各种信息传感设备，如传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描仪、气体感应器等各种装置与技术，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程，采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，与互联网结合形成的一个巨大网络。其目的是实现物与物、物与人，所有的物品与网络的连接，方便识别、管理和控制。

1.1.3 物联网的特征

物联网是继计算机、互联网与移动通信网之后的又一次信息产业浪潮。与传统的互联网相比，物联网有其鲜明的特征。物联网是具有全面感知、可靠传输、智能处理三大特征的连接物理世界的网络，实现了任何人（Anyone）、任何时间（Anytime）、任何地点（Anywhere）及任何物体（Anything）的 4A 连接。物联网的三大特征如图 1.1 所示。



图 1.1 物联网的三大特征

全面感知是指利用射频识别、二维码、GPS、摄像头、传感器、网络等感知、捕获、测量的技术手段，随时随地对物体进行信息的采集和获取。这个层面要突破的是更加敏感、准确，更加全面的感知能力。物联网上部署了海量的多种类型传感器，每个传感器都是一个信息源，不同类别的传感器所捕获的信息内容和信息格式不同。传感器获得的数据具有实时性，按一定的频率周期性地采集环境信息，不断更新数据。物联网中的“物”并非是世间万物的无限大的范围，而是在目前的科技发展状态下的能够满足一定要求的“物”。这里的“物”要满足以下条件才能够被纳入“物联网”的范围：如要有相应信息的接收器；要有数据传输通路；要有一定的存储功能；要有专门的应用程序；要有数据发送器；遵循物联网的通信协议等。

可靠传送是指通过各种通信网、广电网与互联网的融合，将物体信息接入网络，随时随地进行可靠的信息交互和共享。物联网是一种建立在互联网上的泛在网络。物联网技术的核心仍旧是互联网，通过各种有线和无线网络与互联网融合，将物体的信息实时准确地传递出去。在物联网上的传感器定时采集的信息需要通过网络传输，由于其数量极其庞大，形成了海量信息，在传输过程中，为了保障数据的正确性和及时性，必须适应各种异构网络和协议。

智能处理是指利用云计算、数据挖掘等各种智能计算技术，对海量的跨地域、跨行业、跨部门的同构、异构数据和信息进行分析处理，提升对物理世界、经济社会各种活动和变化的洞察力、实现智能化的决策和控制。物联网不仅仅提供了传感器的连接，其本身也具有智能处

理的能力，能够对物体实施智能控制。物联网将传感器和智能处理相结合，利用云计算、模式识别等各种智能技术，扩充其应用领域。从传感器获得的海量信息中分析、加工和处理出有意义的数据，以适应不同用户的不同需求，发现新的应用领域和应用模式。

1.1.4 物联网应用范围

物联网被称为信息技术移动泛在化的一个具体应用。物联网通过智能感知、识别技术与普适计算、泛在网络的融合应用，打破了之前的传统思维，人类可以实现无所不在的计算和网络连接。传统的思路一直是将物理基础设施和 IT 基础设施分开：一方面是机场、公路、建筑物，而另一方面是数据中心，个人电脑、宽带等。而在“物联网”时代，钢筋混凝土、电缆将与芯片、宽带整合为统一的基础设施，在此意义上，基础设施更像是一块新的地球工地，世界的运转就在它上面进行，其中包括经济管理、生产运行、社会管理乃至个人生活。物联网使得人们可以用更加精细和动态的方式管理生产和生活，管理未来的城市，达到“智慧”状态，提高资源利用率和生产力水平，改善人与自然间的关系。

物联网前景非常广阔，它将极大地改变我们目前的生活方式。物联网把我们的生活拟人化了，万物成了人的同类。在这个物物相连的世界中，物品（商品）能够彼此进行“交流”，而无需人的干预。物联网利用 RFID 技术、传感技术、通信技术，通过计算机互联网实现物品（商品）的自动识别和信息的互联与共享。可以说，物联网描绘的是充满智能化的世界。

物联网运行需要标识物体属性，属性包括静态属性和动态属性。其中，静态属性可初始化在传感设备（如标签）中，而动态属性首先需要由传感器实时进行感知、智能处理；其次需要识别设备完成对物体属性的读取，并将信息转换为适合网络传输的数据格式；最后将物体的信息通过网络传输到信息处理中心，由处理中心完成物体通信的相关计算。物联网用途广泛，遍及政府工作、公共安全、工业监控、城市管理、远程医疗、智能电网、智能小区、智能家居、工农业监测、环境保护监测、食品溯源等各个行业。例如，基于有线电视网络的智能电表的应用，人们可以通过电视机实时查看自家的用电量和电费，据此调控电器以避开用电高峰。物联网的典型应用如图 1.2 所示。



图 1.2 物联网的典型应用

物联网把新一代 IT 技术、信息通信技术、传感技术、海量信息处理技术等充分运用在各行各业之中。具体地说，就是把传感器嵌入和装备到电网、铁路、公路、建筑、供水（气）系统等各种物体中，然后将“物联网”与现有的互联网整合起来，在这个整合的网络当中，依靠超级强大的计算机群，对网络内的人员、机器、设备和基础设施进行实时管理、监测和控制。在此基础上，人类将以更加精细的、动态的方式管理生产和生活，以提高资源利用率和生产力水平。物联网重要应用示范领域见表 1.1。

表 1.1　物联网重要应用示范领域

物联网重点应用领域	物联网应用领域典型应用
智能工业	生产过程控制、生产环境监测、制造供应链跟踪、产品生命周期监测，促进安全生产和节能减排
智能农业	农业资源利用、农业生产精细化管理、生产养殖环境监控、农产品质量安全管理与产品溯源
智能物流	建设库存监控、配送管理、安全追溯等现代流通应用系统，建设跨区域、行业、部门的物流公共服务平台，实现电子商务与物流配送一体化管理
智能交通	交通状态感知与交换、交通诱导与智能化管控、车辆定位与调度、车辆远程监测与服务、车路协同控制，建设开放的综合智能交通平台
智能电网	电力设施监测、智能变电站、配网自动化、智能用电、智能调度、远程抄表，建设安全、稳定、可靠的智能电力网络
智能环保	污染源监控、水质监测、空气监测、生态监测，建立智能环保信息采集网络和信息平台
智能安防	社会治安监控、危化品运输监控、食品安全监控，重要桥梁、建筑、轨道交通、水利设施、市政管网等基础设施安全监测、预警和应急联动
智能医疗	药品流通和医院管理，以人体生理和医学参数采集及分析为切入点面向家庭和社区开展远程医疗服务
智能家居	家庭网络、家庭安防、家电智能控制、能源智能计量、节能低碳、远程教育等

来源：《物联网“十二五”发展规划》（工业和信息化部，2011）

物联网的发展需要经历四个阶段：第一阶段（基础期）是电子标签和传感器被广泛应用在物流、零售和生产领域；第二阶段（导入期）则是实现物体互联；第三阶（成长期）段是物体进入半智能化；第四阶段（发展期）就是物体进入了全智能化。如图 1.3 所示。

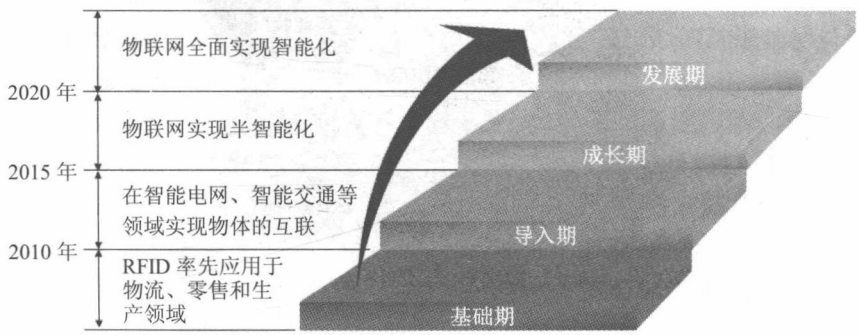


图 1.3　物联网的发展阶段