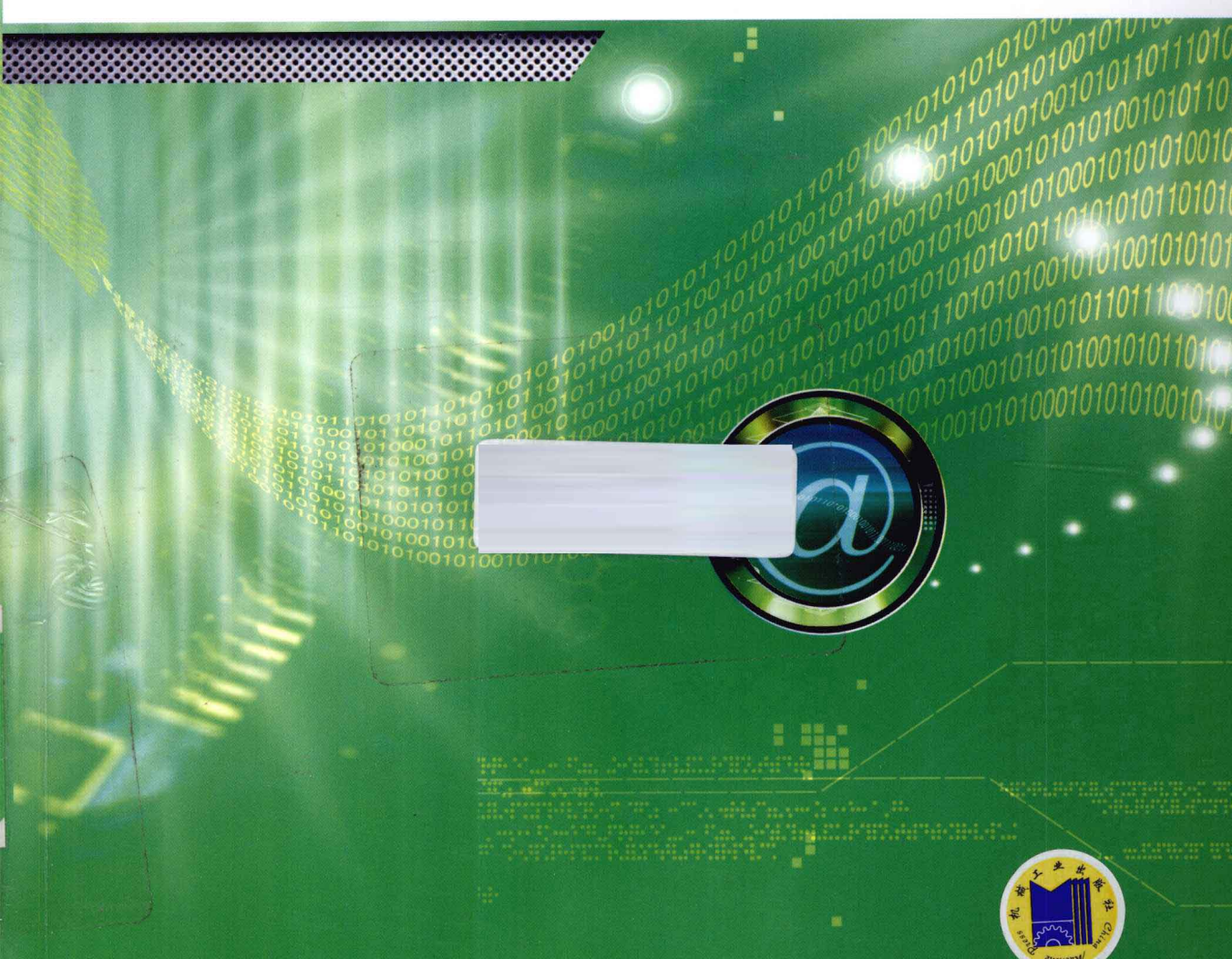


普通高等教育“十二五”规划教材

◎ 武奇生 刘盼芝 编著

物联网 技术与应用

WULIANWANG JISHU YU YINGYONG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

物联网技术与应用

武奇生 刘盼芝 编著



机械工业出版社

前 言

物联网是互联网的延伸和拓展。物联网技术紧密结合无线射频识别（RFID）技术、计算机、通信以及无线传感器网络等一系列信息技术，是正在迅速发展并获得广泛应用的一门综合性学科，它正极大地推动着国家的经济建设，改变着人们的工作和生活方式。如何加快推动信息产业的发展、培养物联网学科专业人才，已经成为许多国家高度重视的战略问题。

本书在介绍物联网基本概念、原理以及物联网体系结构等理论的基础上，从工程 and 实际应用角度全面介绍物联网的关键技术和相关知识。本书特点是：论述严谨、内容新颖、图文并茂，注重基本原理和基础概念的阐述，强调理论联系实际。为了突出应用技术和实践，本书通过交通行业的应用案例，重点介绍了物联网在智能交通上的应用，并通过教学实验和场景训练，进一步加深理解、巩固掌握的物联网理论知识。

本书共分10章。第1章是绪论，第2章是物联网的体系结构及其信息技术，第3章是RFID技术的工作原理，第4章是RFID的频率标准与技术规范，第5章是RFID电子标签应用，第6章是无线传感器网络，第7章是云计算，第8章是物联网安全技术，第9章是物联网的典型应用，第10章是物联网实验。每章后附有小结及习题，为教学的实施提供方便。本教材参考学时为40~60学时，可酌情选择。

本书由武奇生主编并负责统稿。全书编写的具体分工为：武奇生编写第1、2、7、9、10章，刘盼芝编写第3、4、5、6、8章。另外，李斌等研究生绘制了书中的部分插图，对本书的初稿进行了阅读和校对。

在本书即将出版之际，回顾近一年的编写过程，时常想起要感谢的人和事。

在2010年夏，参加机械工业出版社组织的教育部计算机科学与技术专业教学指导分委员会教师高级研修班，听取了南开大学吴功宜教授的讲座“智慧的物联网”，并与吴功宜老师探讨物联网的发展，得吴功宜老师赠书，获益匪浅。

在2010年夏，与上海交通大学王东老师本人及RFID研究团队进行了交流并实地参观了上海张江RFID应用测试公共服务平台、国家RFID产业化（上海）基地，讨论了物联网的发展和应用中的问题和关键技术，对物联网有了更深刻的认识，获益匪浅。

2011年初，在成都道惟尔科技有限公司的支持下，利用该公司出品的DW—WSN31e2440型物联网教学实验设备平台，公司的工程师协助完成了实验部分的编写和校正，充实了实验内容，使得读者学习过程可以落到实处，在学习时能利用实验掌握物联网理论。

在2011年夏，恰逢长安大学自动化专业“卓越工程师教育培养计划”试点班成立，课程整合和教材建设是本次教学改革的关键之一，也是作者所在学院的教学改革重点工作，本书的完成得到了巨永锋教授、汪贵平教授的大力帮助及长安大学国家级自动化特色专业建设点专项经费的资助。

在本书的写作过程中还得到了作者单位的支持和其他同事的帮助，并参阅了许多资料。在此，对单位、同事及所参考书籍的作者也一并表示诚挚的感谢。

在2011年夏，作者作为交通运输部周海涛总工程师主持的“十二五”交通运输重大科技专项“基于物联网的公路网运行状态监测与效率提升技术研究”课题的分项负责人，于7月28日参加了交通运输部召开交通运输重大科技专项启动实施会，副部长高宏峰向各专项牵头单位下达了任务书并就确保完成各项科研任务作了动员部署，作者深深地感到物联网技术对智能交通发展影响深远，物联网应用前景广阔、任重道远。谨愿以此书为契机，作为良好的开端，通过课题研究全面提升交通行业自主创新能力，希望我国的智能交通借助于物联网等信息技术迅猛发展。

由于篇幅所限，没有将RFID实验、无线传感器网络的关键技术、云计算实践、车联网技术等内容补充进来，读者可参阅相关资料。鉴于无线传感器网络的迅速发展，物联网协议和相关技术标准仍在不断地发展和完善之中，加之作者水平和时间有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请同行专家和读者批评指正。

作者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 物联网概述	1
1.1.1 物联网的概念	1
1.1.2 物联网的定义	1
1.1.3 产生物联网是互联网发展的趋势	5
1.2 从互联网到物联网	9
1.2.1 互联网和物联网的关系	9
1.2.2 宽带城域网技术的发展	12
1.2.3 接入网技术发展的背景	12
1.3 物联网、互联网、泛在网	14
1.3.1 物联网的传输通信保障——互联网	15
1.3.2 物联网发展的方向——泛在网	16
1.4 物联网的一般应用及发展	16
1.4.1 物联感知下的应用、预测和市场	16
1.4.2 国内外物联网的发展现状	20
1.4.3 物联网未来趋势——网络融合	26
1.5 本章小结	27
习题	27
第2章 物联网的体系结构及其信息技术	28
2.1 物联网的体系结构	28
2.1.1 物联网的工作原理	28
2.1.2 物联网的体系结构	28
2.1.3 物联网的开展步骤	33
2.2 支持物联网发展的技术	33
2.2.1 无线射频识别 (RFID) 技术	33
2.2.2 无线传感器网络 (WSN)	34
2.2.3 纳米技术	36
2.2.4 感知技术	37
2.2.5 通信及计算技术	43
2.2.6 普适计算技术	45
2.2.7 云计算技术	47
2.2.8 数据库与数据仓库技术	49
2.2.9 人工智能技术	51
2.2.10 嵌入式技术	53
2.3 现代网络通信与物联网	55
2.3.1 无线网络与物联网	55
2.3.2 无线局域网与协议	56
2.3.3 IPv6 技术	57
2.3.4 蓝牙、无线个人区域网与 Zigbee	61
2.4 3G 与物联网的发展	62
2.4.1 3G 的基本概念	62
2.4.2 物联网信息发送的平台——3G 手机	63
2.4.3 基于 RFID 和手机终端的移动电子商务	63
2.5 集成电路——物联网的基石	64
2.5.1 微电子技术和产业发展的重要性	64
2.5.2 集成电路的研究与发展	65
2.5.3 系统芯片的研究与应用	66
2.6 本章小结	67
习题	67
第3章 RFID 技术的工作原理	68
3.1 RFID 技术概述	68
3.1.1 RFID 技术的基本概念和特点	68
3.1.2 RFID 技术的现状和发展	69
3.1.3 RFID 技术的分类	70
3.2 RFID 基本工作原理	74

3.2.1	RFID 的基本原理	74	应用标准	99	
3.2.2	RFID 系统的工作过程	75	4.4.6	ISO/IEC 18000 项目管理的无线射频识别——非接触接口	100
3.2.3	RFID 电子标签的分类	80	4.4.7	SC 17/WG 8 识别卡非接触式集成电路	100
3.3	RFID 的数据传输协议	82	4.5	本章小结	100
3.3.1	数据传输协议与方式	82	习题	100	
3.3.2	数据安全性	83	第 5 章 RFID 电子标签应用	102	
3.4	数据完整性	87	5.1	RFID 电子标签及相关的自动识别技术	102
3.4.1	校验方法	87	5.1.1	条形码简介	102
3.4.2	干扰与抗干扰	88	5.1.2	磁卡与 IC 卡简介	104
3.4.3	识读率与误码率	89	5.1.3	RFID 电子标签	106
3.5	多电子标签同时识别与系统防冲撞	89	5.2	应用 RFID 的事项	116
3.5.1	空分多路法	90	5.2.1	RFID 技术的基本技术参数	116
3.5.2	频分多路法	90	5.2.2	RFID 系统的选择标准与性能评估	118
3.5.3	时分多路法	90	5.2.3	RFID 应用系统的发展趋势	121
3.6	本章小结	91	5.3	本章小结	122
习题		91	习题	122	
第 4 章 RFID 的频率标准与技术规范		92	第 6 章 无线传感器网络	123	
4.1	RFID 标准简介	92	6.1	无线传感器网络的概念、体系结构和特点	123
4.2	RFID 的频率标准	95	6.1.1	无线传感器网络的概念	123
4.2.1	频率标准许可	95	6.1.2	无线传感器网络的体系结构	124
4.2.2	不同的电磁波段	95	6.1.3	无线传感器网络的特点	127
4.2.3	RFID 系统的工作频率与应用范围	96	6.2	无线传感器网络的发展与研究	129
4.2.4	射频系统工作频段解释	96	6.2.1	无线传感器网络的发展历程	129
4.2.5	电感耦合 RFID 系统的使用频率选择	97	6.2.2	无线传感器网络的研究进展	133
4.3	RFID 标准体系结构	97	6.2.3	无线传感器网络面临的挑战和未来发展方向	136
4.4	RFID 的应用行业标准	98	6.2.4	无线传感器网络的应用前景	139
4.4.1	ISO TC 23/SC 19 WG3 应用于动物识别的标准	98	6.3	无线传感器网络通信技术	141
4.4.2	ISO TC 204 应用于道路交通信息学的标准	99	6.3.1	Zigbee 协议规范	141
4.4.3	ISO TC 104 应用于集装箱运输的标准	99	6.3.2	基于 IEEE 802.15.4 标准的无线传感器网络	144
4.4.4	ISO TC 122 应用于包装的标准	99	6.3.3	基于 Zigbee 协议规范的传感器网络	146
4.4.5	ISO/IEC JTC 1 SC 31 自动识别				

6.3.4 基于 Zigbee 的无线传感器网络 与 RFID 技术的融合	148	7.7.4 加速应有部署	182
6.4 无线传感器网络的开发与 应用	148	7.8 云计算的典型公司 Salesforce 及产品简介	182
6.4.1 无线传感器网络仿真技术	148	7.8.1 Salesforce 公司的历史	182
6.4.2 无线传感器网络软件开发	156	7.8.2 Salesforce Force. com 的安全 机制	183
6.4.3 无线传感器网络硬件开发 概述	158	7.9 云计算的服务模式	184
6.4.4 无线传感器网络应用实例	164	7.9.1 比较	184
6.5 无线传感器网络与物联网	166	7.9.2 未来的竞争	185
6.6 本章小结	167	7.10 云计算与中国	186
习题	167	7.10.1 现状	186
第 7 章 云计算	168	7.10.2 对未来的期望	187
7.1 云计算的产生和发展基础	168	7.11 本章小结	189
7.1.1 SaaS 的诞生	168	习题	189
7.1.2 “IT 不再重要”的发表	168	第 8 章 物联网安全技术	190
7.1.3 Google 的三大核心技术	168	8.1 物联网安全	190
7.2 云计算的概念	169	8.1.1 物联网的安全特点	190
7.3 云计算的架构	169	8.1.2 物联网的安全模型	192
7.3.1 云的架构	170	8.2 RFID 的安全管理技术及手机 的安全	193
7.3.2 云计算架构示例	170	8.2.1 RFID 安全管理	193
7.4 云计算的架构实例 ——Cisco UCS	171	8.2.2 手机安全	194
7.4.1 什么是 UCS	171	8.3 无线传感器网络的安全管理 技术	195
7.4.2 UCS 的架构	171	8.3.1 无线传感器网络的信息安全需 求和特点	196
7.5 UCS 的核心技术之 VN - Link	176	8.3.2 密钥管理	198
7.5.1 虚拟网络的难题	176	8.3.3 安全路由	199
7.5.2 Cisco Nexus 1000V 的方案	176	8.3.4 安全聚合	200
7.5.3 NIV 的方案	177	8.4 物联网安全问题	200
7.6 UCS 的核心技术之统一网络	178	8.5 本章小结	201
7.6.1 数据中心的现状	178	习题	201
7.6.2 统一网络简介	178	第 9 章 物联网的典型应用	202
7.6.3 统一网络的基石	179	9.1 物联网在智能交通方面的 应用	202
7.6.4 不足之处	180	9.2 停车场管理	203
7.7 为虚拟化而生	181	9.2.1 停车场管理概述	203
7.7.1 虚拟化的目标	181	9.2.2 停车场管理系统	206
7.7.2 服务器整合	181	9.2.3 停车场管理系统主要功能模块的	
7.7.3 简化系统管理	182		

研究	211	10.2.3 实验步骤	248
9.3 铁路车号自动识别系统	216	10.2.4 数据分析和结论	248
9.3.1 铁路车号自动识别系统建设的 意义及目标	216	10.3 点对点射频通信实验	249
9.3.2 铁路车号自动识别系统的主要 构成	217	10.3.1 实验目的和内容	249
9.3.3 铁路车号自动识别系统的工作 原理	218	10.3.2 实验原理	250
9.3.4 铁路车号自动识别系统的功能 与特点	219	10.3.3 实验步骤	257
9.3.5 经济、社会效益分析	220	10.3.4 数据分析和结论	257
9.4 车辆自动识别管理系统	221	10.4 无线射频广播实验	258
9.4.1 车辆自动识别管理系统的 组成	221	10.4.1 实验目的和内容	258
9.4.2 车辆自动识别管理系统的 功能与特点	222	10.4.2 实验原理	259
9.4.3 车辆自动识别管理系统的 应用与特点	222	10.4.3 实验步骤	262
9.5 物联网在物流业的应用	224	10.4.4 数据分析和结论	262
9.5.1 应用概述	224	10.5 TinyOS 实例化接口实验	264
9.5.2 药品食品的安全管理	226	10.5.1 实验目的和内容	264
9.5.3 电子商务物流	226	10.5.2 实验原理	265
9.6 物联网在其他方面的应用	228	10.5.3 实验步骤	267
9.7 物联网技术的应用前景	233	10.5.4 数据分析和结论	267
9.8 本章小结	235	10.6 ADC 采样实验	268
习题	235	10.6.1 实验目的和内容	268
第10章 物联网实验	236	10.6.2 实验原理	269
10.1 物联网实验平台概述	236	10.6.3 实验步骤	274
10.1.1 实验平台的组成	236	10.6.4 数据分析和结论	274
10.1.2 TinyOS 的安装和使用	237	10.7 物联网智能家居实景系统	275
10.2 信道设置实验	242	10.7.1 物联网智能家居实景实训 系统	275
10.2.1 实验目的和内容	242	10.7.2 家庭室内监控部分	276
10.2.2 实验原理	242	10.7.3 智能家居控制软件	276
		10.7.4 家庭内电器智能化控制	277
		10.7.5 智能家居实景系统实训 方案	279
		10.8 本章小结	281
		参考文献	282

第 1 章 绪 论

我国正处在经济发展的新的历史转折阶段，面临着经济发展的转型。同样，信息化发展之路也面临着新的发展转型。要保持其可持续发展，国家必须要给出新的产业方向定位，并进行切实有效的推进和实施。

信息技术发展中，互联网正在向下一代升级，无线传感器网络和物联网发展迅猛，要着手突破传感网、物联网关键技术，及早部署后 IP 时代相关技术研发，使信息网络产业成为推动信息技术转型、迈向信息社会的“发动机”。

关于物联网等新兴战略产业的发展，十一届全国人大三次会议的政府工作报告中指出：国际金融危机正在促使新的科技革命和产业革命。要大力发展新能源、新材料、节能环保、生物医药、信息网络和高端制造产业等战略性新兴产业。积极推进新能源汽车、“三网”融合取得实质性进展，加快物联网的研发应用，是我国发展物联网等新兴产业的重大决策。

1.1 物联网概述

1.1.1 物联网的概念

物联网的概念首先由麻省理工学院（MIT）的自动识别实验室在 1999 年提出，中国科学院在 1999 年也启动了传感网的研究和开发，当时不叫“物联网”而叫传感网，与其他国家相比，我国的技术研发水平处于世界前列，具有同发优势和重大影响力。

国际电信联盟（ITU）从 1997 年开始每一年出版一部世界互联网发展年度报告，其中 2005 年度报告的题目是《物联网（Internet Of Things, IOT）》。在 2005 年 11 月 27 日突尼斯举办的信息社会世界峰会（WSIS）上，ITU 发布的报告《ITU 互联网报告 2005：物联网》系统地介绍了意大利、日本、韩国与新加坡等国家的案例，并提出了“物联网时代”的构思。世界上的万事万物，小到钥匙、手表、手机，大到汽车、楼房，只要注入一个微型的射频标签芯片或传感器芯片，通过互联网就能够实现物与物之间的信息交互，从而形成一个无所不在的“物联网”。世界上所有的人和物，在任何时间、任何地点，都可以方便地实现人与人、人与物、物与物之间的信息交互。物联网概念的兴起，很大程度上得益于 ITU 的互联网发展年度报告，但是 ITU 的报告对物联网并没有给出一个清晰的定义。总的来说，物联网是指各类传感器和现有的互联网相互衔接的一种新技术，过去对物质的概念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、建筑物等存在的物质世界，另一方面是可对其进行管理的数据中心、个人计算机、宽带等 IT 基础设施，而在物联网时代，建筑物、电缆等将与芯片、宽带整合为统一的物联网基础设施。

1.1.2 物联网的定义

从 1999 年首次提出物联网的概念，到 2005 年在突尼斯举行的信息社会世界峰会上，

2 物联网技术与应用

ITU 在年度报告中对物联网概念的含义进行了扩展：信息与通信技术的目标已经从任何时间、任何地点连接任何人，发展到连接任何物品的阶段，而物体的连接就构成了物联网。发布的《ITU 互联网报告 2005：物联网》，正式提出了“物联网”的概念。

通过十余年的发展，对物联网基本可以定义为：通过无线射频识别（RFID）电子标签、无线传感器等信息传感设备，按传输协议，以有线和无线的方式把任何物品与互联网相连接，运用“云计算”等技术，进行信息交换、通信等处理，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等功能的一种网络。

即“物联网概念”是在“互联网概念”的基础上，将其用户端延伸和扩展到任何物品与物品之间，进行信息交换和通信的一种网络。也就是说在这个网络中，物品（商品）能够彼此进行“交流”，而无需人的干预。其实质是利用射频自动识别技术，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。

物联网把新一代 IT 技术充分运用到各行各业之中，具体地说，就是把带无线射频识别的传感器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、大坝、供水系统、油气管道等各种物体中，然后将物联网与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合。在这个整合的网络当中，运用功能强大的中心计算机群，能够对整合网络内的人员、机器、设备和基础设施实施实时的管理和控制。

当前，世界各国的物联网研究基本都处于技术与试验期这个阶段，美、日、韩、中以及欧盟等国家和组织都投入巨资深入研究探索物联网，并启动了以物联网为基础的“智慧地球”、“U-Japan”、“U-Korea”、“感知中国”等国家或区域战略规划。由于物联网建立在现有的微电子技术、计算机网络与信息系统处理技术、识别技术等成熟而完整的产业链基础之上，许多概念正通过研究而实现，进入试验阶段。

美国的 IBM 公司早在几年前，便提出了“智慧地球”策略；而作为两次信息化革命浪潮中的领跑者，美国已经推出了许多物联网产品，而且通过运营商、学校、科研机构、IT 企业等，结合不少项目建立了广泛的试验区；同时，还与中国在内的一些国家积极推动物联网有关技术标准框架的制订。

与历次信息化浪潮革命不同，中国在物联网领域几乎与美国等国家同时起步，中国高度重视物联网的发展。2009 年 8 月 7 日，温家宝总理在视察中国科学院嘉兴无线传感网工程中心无锡研发分中心时便提出“在传感网发展中，要早一点谋划未来，早一点攻破核心技术”，并且明确要求尽快建立中国的传感信息中心、“感知中国”中心。

虽然目前全球各主要经济体及信息发达国家纷纷将物联网作为未来战略发展新方向，也有诸多产品进入了试验阶段，包括中国在内的极少数国家已经能够实现物联网完整产业链，但无论是标识物体的 IP 地址匮乏关键技术，还是各类通信传输协议需要建立的标准体系、商业模式，以及由物品智能化带来的生产成本较高问题，均制约着物联网的发展和成熟。

因此，物联网目前整体情况既有积极的一面，也有客观存在的诸多难题需要解决；其业务将遵照生产力变革的历史规律不断往前快速发展，但业务的成熟还需要不断的努力。

在理解物联网基本概念时需要注意以下几个问题：

1. 物联网是互联网的延伸与扩展

物联网是在互联网的基础上，利用电子标签与无线传感器网络技术，构建一个覆盖所有人与物的网络信息系统。人与人之间的信息交互共享是互联网最基本的功能。而在物联网

中，更强调的是人与物、物与物之间信息的自动交互和共享。

因此，可以认为：物联网是互联网接入方式与端系统的延伸，也是互联网服务功能的扩展。

2. 物联网实现物理世界与信息世界的无缝连接

2009年9月在北京举办的“物联网与企业环境中欧研讨会”上，欧盟委员会信息和社会媒体司 RFID 部门负责人 Lorent Ferdeix 博士对物联网的描述是：物联网是一个动态的全球网络基础设施，它具有基于标准和互操作通信协议的自组织能力，其中物理的和虚拟的“物”具有身份标识、物理属性、虚拟特性和智能接口，并与互联网无缝连接。

图 1-1 为物理世界与信息世界无缝连接的示意图。从物联网概念出发，可以看到三个世界：真实的物理世界、数字世界与连接两者的虚拟控制的世界。真实的物理世界与数字世界之间存在着物的集成关系；物理世界与虚拟控制的世界之间存在着描述物与活动之间的语义集成关系；数字世界与虚拟控制的世界之间存在着数据集成的关系。三者之间的集成关系共同形成了物联网社会的知识集成关系。

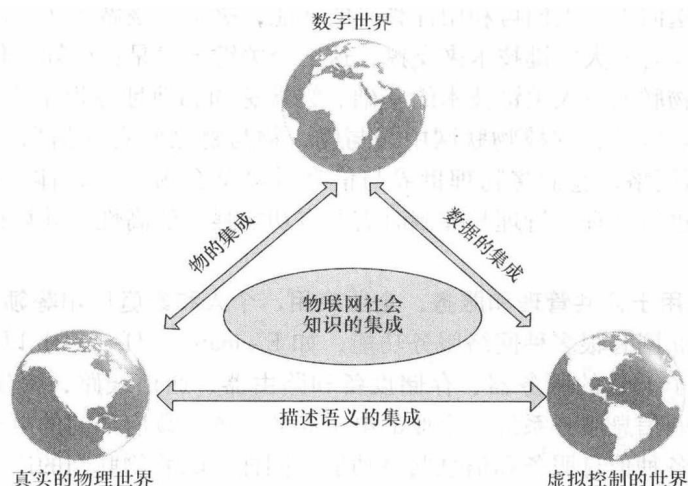


图 1-1 物理世界与信息世界的无缝连接

IBM 公司也在智慧地球概念的基础上提出了他们对物联网的理解。IBM 的学者认为：智慧地球将感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，并通过超级计算机和云计算组成物联网，实现人类社会与物理系统的整合。智慧地球的概念从根本上说，就是希望通过在基础设施和制造业上大量嵌入传感器，捕捉运行过程中的各种信息，然后通过无线传感器网络接入互联网，通过计算机分析处理发出指令，反馈给传感器，远程执行指令，以达到提高效率、效益的目的。这种技术控制的对象，小到控制一个开关、一个可编程序控制器、一台发电机，大到控制一个行业的运行过程。

因此，可以将物联网理解为“物—物相连的互联网”、一个动态的全球信息基础设施，也有的学者将它称为无处不在的“泛在网”和“传感网”。无论是叫它“物联网”，还是“泛在网”或“传感网”，这项技术的实质是使世界上的物、人、网与社会融合为一个有机的整体。物联网概念的本质就是将地球上人类的经济活动、社会生活、生产运行与个人生活

4 物联网技术与应用

都放在一个智慧的物联网基础设施之上运行。

3. 连接到物联网上的“物”应该具有四个基本的特征

连接到物联网上的每个“物”应该具有四个基本的特征：地址标识、感知能力、通信能力和可以控制。可以将这四个基本的特征理解为：

地址标识——是谁？在哪里？

感知能力——有感知周围情况的能力吗？

通信能力——能够将自己了解的情况告诉对方吗？

可以控制——对方能听从自己的指示吗？

在组建物联网应用系统时，首先需要给具有感知能力的传感器或无线射频识别（RFID）电子标签编号，将编号后的传感器安装在指定的位置；将编号和物品的基本信息写入到 RFID 电子标签中，再将 RFID 电子标签贴到指定的物品上。在物联网系统运行过程中，当传感器或 RFID 电子标签移动时，人们能够通过无线网络与互联网随时掌握不同编号的传感器或 RFID 电子标签目前所处的位置，能够指示传感器或 RFID 电子标签，将它们感知的周边情况通过网络传送回来，人们再利用计算机的智能，决定应该做什么。因此，具有移动感知功能的物联网需要有三项关键技术来支撑，这三个关键技术是：感知、传输与计算。终端感知和地址标识是物联网三大关键技术的基础。终端感知和地址标识主要是通过 RFID 与传感器技术来实现的。因此，支撑物联网中人与物、物与物之间自动信息交互的关键技术是 RFID 与无线传感器网络，它们将物理世界与信息世界整合为一个整体。对物联网中的人、设备、网络与信息进行处理、管理与控制时需要有功能强大的高性能计算机与安全的数据存储设备。

4. 物联网可以用于公共管理和服务、企业应用、个人和家庭应用等领域

大家知道，互联网有很多种网络服务功能，如 E-mail、FTP、Web 以及 IPTV 等，很多的互联网网站购置了大量的服务器、存储设备和路由器、通信线路，提供各种网络服务功能，同时学校的校园信息服务系统、企业的电子商务系统、政府部门的电子政务系统都在互联网中运行，提供各种信息服务和信息共享功能。同样，随着物联网的广泛应用，必然也会出现大量的物联网应用系统，如服务于制造业、物流业以及军队后勤补给的物联网应用系统，能够在提高产业核心竞争力方面产生重要的作用。从感知层到网络层，再到应用层，物联网业务将在工业生产、精准农业、公共安全监控、城市管理、智能交通、安全生产、环境监测、远程医疗、智能家居等领域得到广泛应用。

因此，物联网可以用于三大领域，即公共管理和服务、企业应用、个人和家庭应用，物联网是由大量不同用途、符合不同协议标准的物联网应用系统所组成的，物联网的功能体现在各种物联网应用系统所提供的服务上。

5. 物联网提供服务的特点

在物联网环境中，一个合法的用户可以在任何时间、任何地点对任何资源和服务进行低成本的访问。有的学者将物联网能够提供服务的特点总结为 7A 服务，即“Anytime Anywhere Affordable Access to Anything by Anyone Authorized”。

这里，也可以将物联网提供服务的特点总结为：任何人（Anyone, Anybody）可以在任何时候（Anytime, Any context）、任何地方（Any place, Anywhere），通过任何网络或途径（Any path, Any network）访问任何事（Anything, Any device）和任何服务（Any service,

Any business)。图 1-2 给出了物联网能够提供服务的特点示意图。

6. 物联网孕育着巨大的产业发展空间

物联网是继计算机、互联网与移动通信之后的下一个产值可以达到万亿元人民币级别的新经济增长点。物联网的发展必然要形成一个完整的产业链，并能够提供更多的就业机会。物联网的产业链应该包括三个部分：以集成电路设计制造、嵌入式系统为代表的核心产业体系，以网络、软件、通信、信息安全产业和信息服务业为代表的支撑产业体系，以及以数字地球、现代物流、智能交通、智能环保、绿色制造等为代表的直接面向应用的关联产业体系。

美国咨询机构 FORRESTER 预测，到 2020 年，物联网上物与物互联的通信量和人与人的通信量相比，将达到 30 : 1。有的学者认为，物联网产业链可以细分为标识、感知、处理和信息传送四个环节。由物联网应用带动的 RFID 无线射频识别技术、无线传感器网络技术，以及互联网、无线通信、软件技术、芯片与电子元器件产业将会发展成为一个上万亿元人民币规模的高科技市场。

中关村物联网产业联盟、长城战略咨询联合发布的《物联网产业发展研究（2010）》报告描绘了一幅中国物联网产业发展的路线图：2010 年至 2020 年的 10 年中，中国物联网产业将经历应用创新、技术创新、服务创新三个关键的发展阶段，成长为一个超过 5 万亿元规模的巨大产业。报告指出，我国物联网产业未来发展有四大趋势：细分市场递进发展、标准体系渐进成熟、通用性平台将会出现、技术与人的行为模式结合促进商业模式创新。报告也指出了促进物联网产业发展的三个关键问题：制定统一的发展战略和产业促进政策、构建开放架构的物联网标准体系、重视物联网在中国制造与发展绿色低碳经济中的战略性应用。总之，物联网的推广和应用将会成为 21 世纪推进经济发展的又一个助推器，同时也为信息技术与信息产业展示了一个巨大的发展空间。

从长远技术发展的观点看，互联网实现了人与人、人与信息、人与系统的融合，物联网进一步实现了人与物、物与物的融合，使人类对客观世界具有更透彻的感知能力、更全面的认识能力、更智慧的处理能力。这种新的思维模式可以在提高生产力、效率、效益的同时，改善人类社会发展与地球生态的和谐性、可持续发展的关系，“互联化”、“物联化”与“智能化”的融合最终会形成“智慧地球”。

1.1.3 产生物联网是互联网发展的趋势

在理解物联网的基本概念的同时，需要了解物联网发展的社会背景、技术背景以及它能够产生的经济与社会效益。

1. 互联网与无线通信网络为物联网的发展奠定了基础

随着我国经济的高速发展，社会对互联网应用的需求日趋增长，互联网的广泛应用对我国信息产业发展产生了重大的影响。因此，研究我国互联网发展的特点与趋势，对学习计算

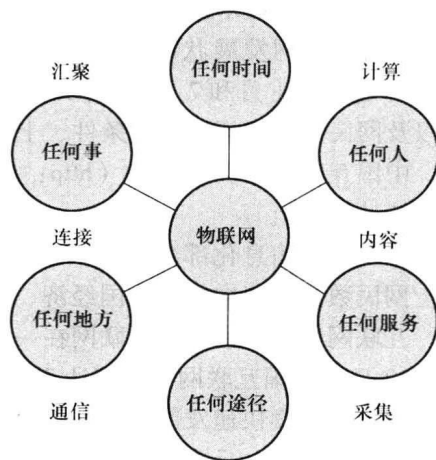


图 1-2 物联网提供服务的特点

机网络与互联网技术显得更为重要。

我国互联网发展状况数据由中国互联网络信息中心（CNNIC）组织调查、统计，从1998年起每年1月和7月发布两次。调查统计的内容主要包括中国网民人数、互联网普及率以及网民结构特征、上网条件、上网行为、互联网基础资源等方面的基本情况。2010年1月，中国互联网络信息中心（<http://www.cnnic.org>）发布了第25次《中国互联网络发展状况统计报告》。

据工业和信息化部2011年7月20日发布的数据显示，我国网民总数已经达到4.85亿人。网民数量快速增长是我国经济、文化、科技与教育高速发展的重要标志之一。

互联网普及率是标志互联网在一个国家或地区影响程度的重要指标之一。截至2011年7月20日，我国互联网普及率达36.2%，超过世界互联网平均普及率。尽管中国的网民规模和普及率持续快速发展，但是由于我国的人口基数大，在互联网普及率上与互联网应用发展较发达的美国、日本、韩国、俄罗斯相比有一定的差距。截至2009年12月底，美国、日本和韩国互联网普及率分别达到74.1%、75.5%和77.3%，欧盟27国中互联网普及率最高的三国分别是荷兰（90%）、卢森堡（87%）、瑞典（86%）。

截至2011年7月底，手机网民规模为3.18亿。随着3G技术的推广和应用，手机上网将会有更快速的发展。

IP地址分为IPv4和IPv6两种，目前主流应用是IPv4地址。截至2009年12月底，中国大陆IPv4地址数量约为2.32亿个，居全球第二位（<http://trace.twnic.net.tw/ipstats/stat-sipv4.php>）。据2007年底公布的数据，IPv4地址资源的59.7%集中在美国。IPv4地址在我国的紧缺局面非常严峻，随着互联网应用的迅速发展，IPv4资源的短缺形势将越来越严峻，向IPv6过渡已是大势所趋。

2009年第四季度，我国互联网行业在即时通信、搜索引擎、网络广告、网络视频、网络营销、博客、网络游戏等互联网应用上稳步增长。

2009年的互联网信息获取、交流沟通、网络娱乐和商务交易四大类网络应用中，商务类应用的增长率最高，达到68%。

2009年初3G发牌后，政府部门的相关鼓励政策、电信运营商围绕3G展开的推广活动，都为移动互联网的发展注入了新的活力。庞大的用户需求市场，将进一步推动移动互联网各项应用及3G产业链的发展和不断完善。2009年底中国移动互联网应用环境日益成熟，未来将继续保持高速增长的趋势。

从以上数据中可以看出，随着我国国民经济的高速发展，我国的互联网应用得到了快速发展，这将为我国物联网技术的研究打下坚实的基础。

2. 解决物理世界与信息世界分离所造成的问题成为物联网发展的推动力

如果将人们生活的社会称为物理世界，将互联网称为信息世界的话，那么会发现：物理世界发展的历史远远早于信息世界，物理世界中早已形成了自己的生活规则与思维方式，尽管从事信息世界建设的人们希望将两者尽可能地融合在一起，但是物理世界与信息世界分开发展、互相割裂的现象明显存在，而且造成了物质资源的浪费与信息资源不能被很好地利用。例如，由于我国电网管理与调度的智能化程度仍然不高，使电能传输过程中损失达到6%~8%；由于我国医疗信息化程度不够，患者的医疗信息不能够共享，使每个患者辗转在不同医疗机构之间多花费的各种检查与手续费用平均多出1000元；由于物流自动化程度不

高，使每年的物流成本占我国 GDP 的比重高达 20%，高出美国一倍；由于缺乏相应的监管手段，我国仍有大量工业废水与社会污水未经处理就排入到河流或湖泊中，加剧了全国城市的水环境恶化与可利用水资源的不足；等等。而且，我国地震、水灾、冰冻灾害的发生，也使得我们不得不集中精力，组织力量研究数字地质、数字煤炭技术，通过接入物联网，达到预防和减少地质灾害、天气灾害与生产事故所造成的人员伤害与经济损失，提高抗灾救灾的能力。

以上数据和分析说明，过去人类的思维方式一直是将物理世界的社会基础设施（高速公路、机场、电站、建筑物、煤炭生产建设）与信息基础设施（互联网、计算机、数据中心）分开规划、设计与建设，而物联网的概念是将人、钢筋混凝土、网络、芯片、信息整合在一个统一的基础设施之上，将现实的物理世界与信息世界融合，通过信息技术去提高物理世界的资源利用率、节能减排，达到改善物理世界环境与人类社会质量的目的。

3. 社会经济发展与产业转型成为物联网发展的推动力

社会需求是新技术与新概念产生的真正推动力。在经济全球化的形势下，商品货物在世界范围内的快速流通已经成为一种普遍现象。传统的技术手段对货物的跟踪识别效率低、成本高、容易出现差错，已经无法满足现代物流业的发展要求。同时，经济全球化使得所有的企业都面临激烈竞争的局面，企业需要及时获取世界各地对商品的销售情况与需求信息，为全球采购与生产制定合理的计划，以提高企业的竞争力，这就需要采用先进的信息技术手段和现代管理理念。

同时，在节能减排等方面物联网也有十分成功的案例。以日本建筑物空调节能的设计为例，在日本的一幢大楼里安装了近两万个联网的温度传感器，大楼里面不同的房间在不同的时间要求的温度不一样，传感器测量房间的温度，控制系统按照需要的温度对空调进行智能控制。通过实验，这项技术节约的电能可达 29.4%。有的 IT 公司办公室所有的灯光都是智能控制的。员工进入办公室之后，头顶上的灯自动打开；离开这个位置后，头顶上的光源则自动关闭；如果外面的阳光太过强烈，窗帘则自动拉下。各个光源都是通过自动感应设备连接到网络中的控制计算机，由计算机进行智能控制，这样可以做到最大限度地节约电能（参阅第 10 章的智能家庭实景系统）。

智能电网、电力安全监控也是物联网的一个重要的应用。电力行业是关系到国计民生的基础性行业。电力线传输系统包括变电站（高、低压变压器，控制箱）、高压传输线、中继电器、塔架等，其中高压传输线及塔架位于野外，承担电能的输运，电压至少为 35kV 以上，是电力网的骨干部分。电力系统是一个复杂的网络系统，其安全可靠运行不仅可以保障电力系统的正常运营与供应，避免安全隐患所造成的重大损失，更是全社会稳定健康发展的基础。中国国家电网公司于 2010 年 5 月 21 日公布了智能电网计划，其主要内容包括：以坚强的智能电网为基础，以通信信息平台为支撑，以智能控制为手段，包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节，覆盖所有电压等级，实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合，构建坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代电网。采用物联网技术可以全面有效地对电力传输的整个系统，从电厂、大坝、变电站、高压输电线路直至用户终端进行智能化处理，包括对电力系统运行状态的实时监控和自动故障处理，确定电网整体的健康水平，触发可能导致电网故障的早期预警，确定是否需要立即进行检查或采取相应的措施，分析电网系统的故障、电压降低、电能质量差、过载和其

他不希望的系统状态，基于这些分析，采取适当的控制行动。

物联网在工业生产中的应用可以极大地提高企业的核心竞争力。在信息化过程中，信息技术越来越多地融入到传统的工业产品设计、生产、销售与售后服务中，提高了企业的产品质量、生产水平与销售能力，极大地提高了企业的核心竞争力。学术界将信息化与工业化的融合总结为五个层面的内容：产品构成层的融合、工业设计层的融合、生产过程控制层的融合、物流与供应链层的融合、经营管理与决策层的融合。应用信息技术改造传统产业主要将表现在：产品设计、研发的信息化；生产装备与生产过程的自动化、智能化；物流与供应链管理的信息化；RFID 技术在工业生产过程中的应用；用物联网技术支撑工业生产的全过程等方面。

在推进信息化与工业化融合的过程中，人们认识到：物联网可以将传统的工业化产品从设计、供应链、生产、销售、物流与售后服务融为一体，可以最大限度地提高企业的产品设计、生产、销售能力，提高产品质量与经济效益，极大地提高企业的核心竞争力。

物联网发展的社会背景如图 1-3 所示。

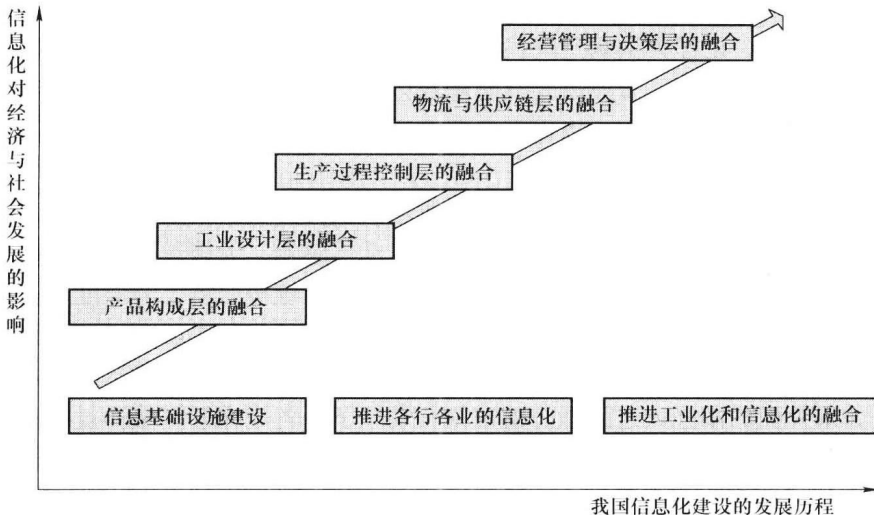


图 1-3 物联网发展的社会背景

计算机技术、通信与微电子技术的高速发展，促进了互联网技术、无线射频识别（RFID）技术、全球定位系统（GPS）与数字地球技术的广泛应用，以及无线网络与无线传感器网络（WSN）研究的快速发展，互联网应用所产生的巨大经济与社会效益，加深了人们对信息化作用的认识，而互联网技术、RFID 技术、GPS 技术与 WSN 技术为实现全球商品货物快速流通的跟踪识别与信息利用进而实现现代管理打下了坚实的技术基础。

互联网已经覆盖了世界的各个角落，已经深入到各国的经济、政治与社会生活，已经改变了几十亿网民的生活方式和工作方式。但是现在互联网上关于人类社会、文化、科技与经济信息的采集还必须由人来输入和管理。为了适应经济全球化的需求，人们设想如果从物流角度将 RFID 技术、GPS 技术与 WSN 技术与“物品”信息的采集、处理结合起来，就能够将互联网的覆盖范围从“人”扩大到“物”，就能够通过 RFID 技术、WSN 技术与 GPS 技术采集和获取有关物流的信息，通过互联网实现对世界范围内的物流信息的快速、准确识

别与全程跟踪，这种技术就是物联网技术。

物联网发展的社会与技术背景如图 1-4 所示。

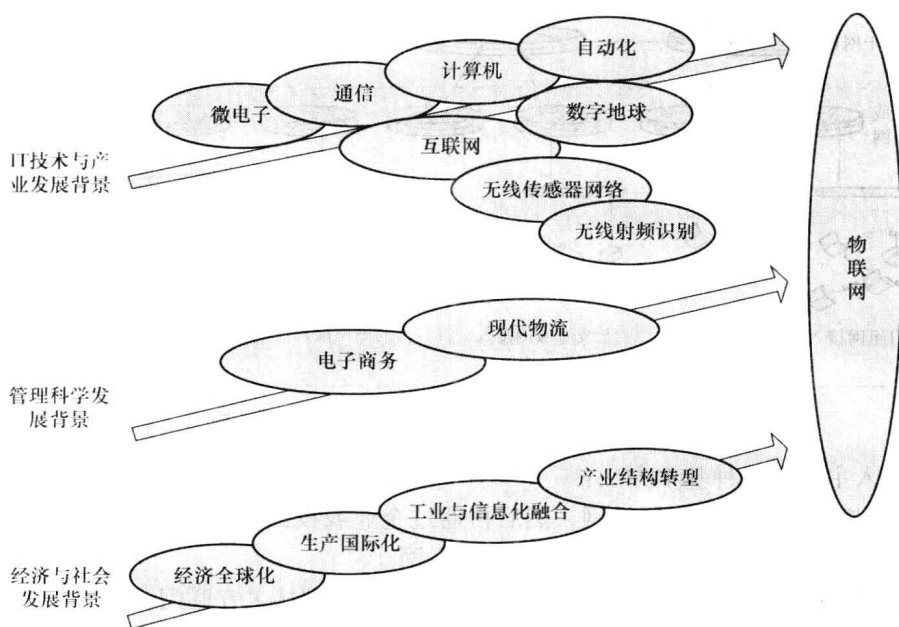


图 1-4 物联网发展的社会与技术背景

1.2 从互联网到物联网

物联网是在计算机互联网的基础上利用无线射频识别、无线数据通信等技术，构造一个覆盖世界上万事万物的“Internet of Things”。在这个网络中，物品（商品）能够彼此进行“交流”，而无需人的干预。其实质是利用无线射频识别技术，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。

物联网概念是在互联网概念的基础上，将其用户端延伸和扩展到任何物品之间，进行信息交换和通信的一种网络概念。它也是互联网知识和研究的结果和总结。

1.2.1 互联网和物联网的关系

在介绍了互联网与物联网技术特点的基础上，可以从网络结构与网络端系统数据采集方式两个不同的角度对互联网与物联网进行深入的比较，从互联网与物联网体系结构的角度说明它们之间的区别与联系。

1. 从网络端系统接入的角度看互联网与物联网的关系

(1) 从端系统接入的角度看互联网的结构 图 1-5 给出了从端系统接入的角度看互联网的结构示意图。从图 1-5 中可以看出，互联网的端系统接入主要有两种类型：有线接入与无线接入。