

21世纪高等学校规划教材 | 物联网



# 物联网概论

鄂旭 主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 物

# 物联网概论

鄂旭 主编

王欣铨 张野 瞿涛 刘春晓 翟宝峰 编著

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是一本讲述物联网基础理论与技术及其应用的书籍。全书较为全面地讲述了物联网的基本知识、技术体系及相关理论,对物联网关键技术(如 RFID 技术、无线传感器网络技术、云计算、智能信息处理技术等)进行了深入的分析和探讨。本书图文并茂,在写作构思和结构编排上力争全面、系统、深入,使读者不仅能够对物联网有一个较为清晰的了解和认识,还能够进行深入的设计和应用。

本书可作为物联网工程专业、计算机科学与技术专业、管理科学与工程及相关专业的本科生、研究生和博士生的学习参考用书,同时对相关学科领域的科技工作者和工程技术人员也有重要的使用和参考价值。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

物联网概论/鄂旭主编.--北京:清华大学出版社,2015

21 世纪高等学校规划教材·物联网

ISBN 978-7-302-36992-9

I. ①物… II. ①鄂… III. ①互联网络—应用 ②智能技术—应用 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 139527 号

责任编辑:魏江江 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:时翠兰

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15

字 数:364 千字

版 次:2015 年 11 月第 1 版

印 次:2015 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.50 元

# 出版说明

---

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: [weijj@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:weijj@tup.tsinghua.edu.cn)

# 前言

物联网(Internet of Things, IOT)是继计算机、互联网之后的又一次信息科技革命,被誉为第三次信息科技浪潮,并且被我国“十二五”规划列为国家战略性新兴产业。它的最高目标是要实现实时获取任何地点以及任何需要监控、连接、互动的物体或过程的信息,采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种有用的信息,通过各种可能的网络接入,实现物与物、物与人的泛在连接,实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。它涉及计算机科学与技术、电子科学与技术、自动化、通信工程、信息安全、智能科学与技术等诸多学科领域,在科技民生、智慧城市、低碳绿色、交通运输、物流配送、安防监控、智能电网、节能环保等方面有着广阔的应用前景。物联网的整体构架大体可分为三层,即感知控制层、网络传输层和应用服务层。物联网的基础技术包括 EPC 和 RFID 技术、MEMS 传感器技术、M2M 技术、WSN 无线传感器网络技术等,这些基础技术完成了物联网节点在信息获取和数据传输上的基础构建,是物联网提供有效服务的前提。物联网是现有技术的凝聚融合和创新提升,而且它在结构上是开放的。因此,无论是科学研究还是市场推广,物联网都有着广阔的前景。

本书旨在根据国家科技发展纲要和“十二五”科技规划与社会发展战略的需要,围绕领域共性关键技术,全面提升我国物联网技术创新能力和科技水平,构建我国物联网创新体系和技术支撑体系,有效保障我国物联网产业健康发展。

本书在剖析物联网体系结构的基础上,仔细梳理了各个知识点,理出一条循序渐进的知识线路,详细阐述了其中的关键技术,进一步探讨了研究领域和应用领域的科学技术问题。因此,本书具有体系结构清晰、知识完整、深入浅出、易于融会贯通的特点,非常适合教学和学习。

本书总体编写思路如下:第一部分总体讲述物联网的定义、体系架构、关键技术以及研究应用难点,描述物联网的应用领域;第二部分详细描述物联网的技术构成,包括 RFID 技术、无线传感网络技术、物联网组网技术、物联网智能空间技术、物联网终端技术、物联网标准体系、云计算以及物联网智能信息处理等;第三部分着重讲述物联网技术在食品、农业、交通、石油石化、电力、物流等行业的具体应用以及关键技术问题。

本书具有如下特色:

(1) 体系结构清晰,逻辑性强。

本书以物联网体系结构为基础,按照从下层到上层,从具体技术到方法论的思路进行编写,知识结构清晰,便于读者从宏观上把握物联网工程的知识内涵。

(2) 内容深入浅出,易于融会贯通。

本书内容由浅入深,从具体的标签技术、传感器技术到无线传感器网络、云计算、智能处理技术,再上升到物联网的方法论和安全技术。知识既有衔接性,又有一定的跨越性,适合不同层次教学的需求。

(3) 案例丰富,实际应用指导性强。

本书编写了大量实际物联网工程项目案例,力图将抽象的知识转化成具体的实现过程,便于读者学以致用。

感谢北京科技大学的王志良教授为本书提供了大量的文献资料。

感谢北京科技大学的高学东教授和武森教授,因为他们作为编者的导师,在编者攻读博士学位期间对本书素材的积累提供了极大的支持与帮助。

感谢北京交通大学中国产业安全研究中心李孟刚教授、李建革教授、胡少华博士后给予的大力支持与帮助。

感谢清华大学出版社的大力支持与帮助。

本书在完成的过程中,得到了辽宁省“百千万人才工程”人选择优资助项目(编号:2012921058)、中国博士后科学基金(编号:2012M520158)、辽宁省教育厅项目基金(编号:L2012396,L2012397,L2012400)、辽宁省社科联2014年度辽宁经济社会发展立项课题(2014LSLKT DGLX-02)、辽宁省自然科学基金项目(编号:2014020141)、辽宁省教育改革项目基金等的资助,在此一并表示衷心的感谢。

物联网正处于起步发展阶段,由于时间和作者的认识领悟能力有限,书中难免存在缺点与疏漏之处,敬请各位专家以及广大读者批评指正。

鄂 旭

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 物联网概述             | 1  |
| 1.1 物联网的定义              | 1  |
| 1.2 物联网的发展历程            | 3  |
| 1.3 物联网发展的推动力           | 5  |
| 1.3.1 第一大推动力：政府         | 5  |
| 1.3.2 第二大推动力：企业         | 8  |
| 1.3.3 第三大推动力：教育界与科技界    | 9  |
| 1.4 物联网的三个层次            | 10 |
| 1.5 物联网的 8 层架构          | 11 |
| 1.6 物联网的 4 大支撑技术        | 13 |
| 1.7 物联网应用的重要意义          | 13 |
| 1.7.1 物联网应用对企业发展的意义     | 13 |
| 1.7.2 物联网应用对产业发展的意义     | 14 |
| 1.7.3 物联网应用对我国经济发展的重要意义 | 15 |
| 第 2 章 RFID 技术           | 17 |
| 2.1 RFID 介绍             | 17 |
| 2.1.1 RFID 的优点          | 17 |
| 2.1.2 RFID 的系统组成        | 17 |
| 2.2 RFID 的特征            | 18 |
| 2.3 RFID 的工作原理          | 19 |
| 2.4 RFID 技术的分类          | 20 |
| 2.5 RFID 技术标准           | 21 |
| 第 3 章 无线传感器网络技术         | 22 |
| 3.1 ZigBee 技术           | 22 |
| 3.2 ZigBee 无线数据传输网络描述   | 23 |
| 3.3 ZigBee 的技术优势        | 25 |
| 第 4 章 物联网组网技术           | 26 |
| 4.1 现场总线技术              | 26 |
| 4.1.1 现场总线              | 26 |

|       |                     |    |
|-------|---------------------|----|
| 4.1.2 | 现场总线的特点 .....       | 27 |
| 4.2   | WiFi 技术 .....       | 27 |
| 4.2.1 | WiFi 无线网络结构 .....   | 28 |
| 4.2.2 | WiFi 的优点 .....      | 28 |
| 4.2.3 | WiFi 的技术发展 .....    | 29 |
| 4.3   | 蓝牙技术 .....          | 29 |
| 4.3.1 | 蓝牙技术指标 .....        | 30 |
| 4.3.2 | 蓝牙技术特点 .....        | 31 |
| 4.4   | 全球定位系统技术 .....      | 31 |
| 4.4.1 | GPS 组成 .....        | 31 |
| 4.4.2 | GPS 特点 .....        | 32 |
| 4.4.3 | GPS 前景 .....        | 32 |
| 4.5   | 电力线通信技术 .....       | 33 |
| 4.5.1 | PLC 关键技术 .....      | 34 |
| 4.5.2 | PLC 特点 .....        | 34 |
| 4.5.3 | PLC 发展展望 .....      | 35 |
| 4.6   | 微机电系统技术 .....       | 36 |
| 4.6.1 | MEMS 技术 .....       | 37 |
| 4.6.2 | MEMS 技术发展史 .....    | 37 |
| 4.6.3 | 微传感器研究现状与发展方向 ..... | 38 |
| 第 5 章 | 物联网智能空间技术 .....     | 42 |
| 5.1   | 智能空间技术 .....        | 42 |
| 5.2   | 智能空间的基本要求 .....     | 43 |
| 5.3   | 智能空间的特点 .....       | 43 |
| 5.4   | 智能空间中的接口设备 .....    | 44 |
| 5.5   | 智能空间中的普适网络 .....    | 44 |
| 5.6   | 物联网智能空间技术分类 .....   | 45 |
| 第 6 章 | 物联网终端 .....         | 46 |
| 6.1   | 物联网终端的基本原理 .....    | 46 |
| 6.2   | 物联网终端的作用 .....      | 46 |
| 6.3   | 物联网终端的主要分类 .....    | 46 |
| 6.4   | 物联网终端的标准化 .....     | 47 |
| 6.4.1 | 硬件接口标准化 .....       | 47 |
| 6.4.2 | 数据协议标准化 .....       | 48 |
| 第 7 章 | 物联网的标准体系 .....      | 49 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第 8 章 云计算 .....              | 53 |
| 8.1 云计算概念 .....              | 53 |
| 8.2 云计算基本原理 .....            | 54 |
| 8.3 云计算特点 .....              | 54 |
| 8.4 云计算服务模式 .....            | 55 |
| 第 9 章 智能信息处理 .....           | 57 |
| 9.1 开放复杂智能系统 .....           | 57 |
| 9.1.1 开放复杂智能系统的理论基础 .....    | 57 |
| 9.1.2 开放复杂智能系统的复杂性特征 .....   | 58 |
| 9.2 分布智能 .....               | 59 |
| 9.2.1 分布智能的产生背景 .....        | 59 |
| 9.2.2 分布智能的实质 .....          | 59 |
| 9.2.3 智能 Agent .....         | 59 |
| 9.2.4 多智能 Agent .....        | 61 |
| 9.3 智能数据分析 .....             | 62 |
| 9.3.1 数据库知识发现与数据挖掘 .....     | 62 |
| 9.3.2 数据库知识发现过程 .....        | 62 |
| 9.3.3 数据挖掘任务 .....           | 63 |
| 9.3.4 数据仓库与数据挖掘 .....        | 64 |
| 9.3.5 分布式数据挖掘 .....          | 65 |
| 9.3.6 分布式数据挖掘系统 .....        | 66 |
| 9.3.7 分布式数据挖掘算法 .....        | 67 |
| 第 10 章 食品安全物联网 .....         | 73 |
| 10.1 食品安全 .....              | 73 |
| 10.1.1 食品安全基本概念 .....        | 73 |
| 10.1.2 食品安全的特性 .....         | 76 |
| 10.1.3 食品安全与食品卫生等的关系 .....   | 77 |
| 10.1.4 食品安全与安全食品的关系 .....    | 79 |
| 10.1.5 食品安全管理的意义 .....       | 80 |
| 10.1.6 食品安全问题面临的新挑战 .....    | 80 |
| 10.1.7 影响我国食品安全问题的主要因素 ..... | 80 |
| 10.2 现代食品安全控制 .....          | 82 |
| 10.2.1 食品安全管理 .....          | 82 |
| 10.2.2 食品安全管理的第一次浪潮 .....    | 82 |
| 10.2.3 食品安全管理的第二次浪潮 .....    | 84 |
| 10.2.4 食品安全管理的第三次浪潮 .....    | 84 |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 10.2.5 | 食品安全管理三次浪潮之间的关系           | 85  |
| 10.3   | 危害分析关键控制点                 | 85  |
| 10.3.1 | HACCP 体系的实质               | 85  |
| 10.3.2 | HACCP 体系的特点               | 86  |
| 10.3.3 | HACCP 体系的发展               | 86  |
| 10.3.4 | HACCP 体系的基本原理             | 87  |
| 10.3.5 | HACCP 体系的实施               | 88  |
| 10.3.6 | HACCP 体系的意义               | 92  |
| 10.4   | 食品安全管理体系                  | 92  |
| 10.4.1 | 食品安全管理体系的关键要素             | 92  |
| 10.4.2 | 食品安全管理体系的基本内容             | 93  |
| 10.4.3 | 建立食品安全管理体系的步骤             | 93  |
| 10.4.4 | 食品安全管理体系的运行和保持            | 94  |
| 10.4.5 | 全面质量管理                    | 95  |
| 10.5   | 食品安全的风险分析                 | 96  |
| 10.5.1 | 风险分析概念                    | 96  |
| 10.5.2 | 风险评估                      | 97  |
| 10.5.3 | 风险管理                      | 99  |
| 10.5.4 | 风险情况交流                    | 100 |
| 10.5.5 | 风险分析意义                    | 101 |
| 10.5.6 | 食品安全风险评价体系                | 102 |
| 10.6   | 基于物联网 RFID 技术的食品安全追溯系统    | 103 |
| 10.6.1 | RFID 技术在运输环节的应用设计         | 103 |
| 10.6.2 | RFID 技术在加工环节的应用设计         | 104 |
| 10.6.3 | 系统工作原理                    | 104 |
| 10.6.4 | 系统架构                      | 105 |
| 10.6.5 | 食品安全物联网应用服务               | 106 |
| 10.6.6 | 通信网络和食品安全数据库的建立           | 107 |
| 10.6.7 | 食品安全评估算法的设计               | 107 |
| 10.6.8 | RFID 技术存在的问题和应用范围         | 107 |
| 10.7   | RFID 生猪管理解决方案             | 108 |
| 10.7.1 | 需求分析                      | 108 |
| 10.7.2 | 系统组成                      | 108 |
| 10.7.3 | 系统软件及数据库选择                | 108 |
| 10.7.4 | 系统工作原理                    | 109 |
| 10.7.5 | 食品安全物联网技术带来的优势            | 110 |
| 10.8   | RFID 技术及其在奶牛精细养殖数字化系统中的应用 | 110 |
| 10.8.1 | 系统体系结构                    | 110 |
| 10.8.2 | 系统数据流程                    | 111 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 10.8.3 系统物理实现 .....              | 112        |
| <b>第 11 章 物联网在其他行业中的应用 .....</b> | <b>114</b> |
| 11.1 智慧农业物联网 .....               | 114        |
| 11.1.1 行业概况 .....                | 114        |
| 11.1.2 物联网应用需求 .....             | 115        |
| 11.1.3 物联网技术应用架构 .....           | 116        |
| 11.1.4 典型案例 .....                | 118        |
| 11.2 石油石化物联网 .....               | 120        |
| 11.2.1 行业概况 .....                | 120        |
| 11.2.2 物联网应用需求 .....             | 121        |
| 11.2.3 物联网技术应用架构 .....           | 122        |
| 11.2.4 典型案例 .....                | 125        |
| 11.3 仓储物流物联网 .....               | 127        |
| 11.3.1 行业概况 .....                | 127        |
| 11.3.2 物联网应用需求 .....             | 128        |
| 11.3.3 物联网技术应用架构 .....           | 130        |
| 11.3.4 典型案例 .....                | 132        |
| 11.4 矿业物联网 .....                 | 134        |
| 11.4.1 行业概况 .....                | 134        |
| 11.4.2 物联网应用需求 .....             | 134        |
| 11.4.3 物联网技术应用架构 .....           | 136        |
| 11.4.4 典型案例 .....                | 138        |
| 11.5 房地产物联网 .....                | 140        |
| 11.5.1 行业概况 .....                | 140        |
| 11.5.2 物联网应用需求 .....             | 140        |
| 11.5.3 物联网技术应用架构 .....           | 142        |
| 11.5.4 典型案例 .....                | 143        |
| 11.6 交通运输物联网 .....               | 146        |
| 11.6.1 行业概况 .....                | 146        |
| 11.6.2 物联网应用需求 .....             | 147        |
| 11.6.3 物联网技术应用架构 .....           | 149        |
| 11.6.4 典型案例 .....                | 151        |
| 11.7 电信物联网 .....                 | 153        |
| 11.7.1 行业概况 .....                | 153        |
| 11.7.2 物联网应用需求 .....             | 154        |
| 11.7.3 物联网技术应用架构 .....           | 155        |
| 11.7.4 典型案例 .....                | 155        |
| 11.8 电力物联网 .....                 | 156        |

|         |                    |     |
|---------|--------------------|-----|
| 11.8.1  | 行业概况 .....         | 156 |
| 11.8.2  | 物联网应用需求 .....      | 157 |
| 11.8.3  | 物联网技术应用架构 .....    | 159 |
| 11.8.4  | 典型案例 .....         | 161 |
| 11.9    | 智能制造物联网 .....      | 162 |
| 11.9.1  | 行业概况 .....         | 162 |
| 11.9.2  | 物联网应用需求 .....      | 163 |
| 11.9.3  | 物联网技术应用架构 .....    | 164 |
| 11.9.4  | 典型案例 .....         | 168 |
| 11.10   | 智能教育物联网 .....      | 169 |
| 11.10.1 | 行业概况 .....         | 169 |
| 11.10.2 | 物联网应用需求 .....      | 170 |
| 11.10.3 | 物联网技术应用架构 .....    | 170 |
| 11.10.4 | 典型案例 .....         | 171 |
| 11.11   | 医疗卫生物联网 .....      | 172 |
| 11.11.1 | 行业概况 .....         | 172 |
| 11.11.2 | 物联网应用需求 .....      | 173 |
| 11.11.3 | 物联网技术应用架构 .....    | 175 |
| 11.11.4 | 典型案例 .....         | 176 |
| 11.12   | 智能展览展示物联网 .....    | 179 |
| 11.12.1 | 行业概况 .....         | 179 |
| 11.12.2 | 物联网应用需求 .....      | 180 |
| 11.12.3 | 物联网技术应用架构 .....    | 181 |
| 11.12.4 | 典型案例 .....         | 183 |
| 11.13   | 环境保护物联网 .....      | 184 |
| 11.13.1 | 行业概况 .....         | 184 |
| 11.13.2 | 物联网的应用需求 .....     | 185 |
| 11.13.3 | 物联网技术应用架构 .....    | 186 |
| 11.13.4 | 典型案例 .....         | 190 |
| 第 12 章  | 物联网产业发展与未来 .....   | 192 |
| 12.1    | 物联网发展概述 .....      | 192 |
| 12.1.1  | 物联网发展带来新浪潮 .....   | 192 |
| 12.1.2  | 物联网技术发展路径 .....    | 192 |
| 12.2    | 物联网的产业发展趋势 .....   | 194 |
| 12.2.1  | 物联网产业生态环境发展 .....  | 194 |
| 12.2.2  | 物联网商业模式转变 .....    | 195 |
| 12.2.3  | 跨行业的协作与发展 .....    | 196 |
| 12.3    | 周边产业发展带来的新契机 ..... | 197 |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 12.4 我国发展物联网产业的机遇 .....               | 199        |
| 12.5 我国发展物联网产业的挑战 .....               | 200        |
| 12.6 我国物联网产业的发展前景 .....               | 202        |
| <b>附录A 物联网理论基础 .....</b>              | <b>203</b> |
| A.1 物联网下的控制理论基础 .....                 | 204        |
| A.1.1 经典控制理论 .....                    | 204        |
| A.1.2 现代控制理论 .....                    | 205        |
| A.1.3 几种常见的控制方式 .....                 | 205        |
| A.1.4 基于网络的控制理论基础 .....               | 209        |
| A.2 信息论与网络理论基础 .....                  | 210        |
| A.2.1 信息论分类及发展 .....                  | 210        |
| A.2.2 信息论基础 .....                     | 211        |
| A.2.3 物联网语境下的信息论——感知信息论 .....         | 214        |
| A.3 网络科学基础 .....                      | 215        |
| A.3.1 网络科学研究的三个阶段 .....               | 215        |
| A.3.2 研究网络科学的工具和方法 .....              | 215        |
| A.3.3 无尺度网络和 Barabasi-Albert 模型 ..... | 216        |
| A.4 CPS 理论基础 .....                    | 217        |
| A.4.1 CPS——物联网的技术内涵 .....             | 217        |
| A.4.2 CPS 的体系结构 .....                 | 218        |
| A.4.3 CPS 发展的科学技术瓶颈分析 .....           | 219        |
| A.5 物联网关键的科学问题 .....                  | 221        |
| A.6 物联网建模探究 .....                     | 222        |
| <b>参考文献 .....</b>                     | <b>224</b> |

# 第1章

## 物联网概述

作为新兴事物的物联网其实并不年轻,近十年的发展历程中,不同的国家、机构组织,在不同时期,都在关注着物联网。物联网(Internet of Things,IOT)被看作是信息领域的一次重大发展与变革,其广泛应用将在未来 5~15 年中为解决现代社会问题做出极大贡献。2009 年以来,美国、欧盟、日本等纷纷出台物联网发展计划,进行相关技术和产业的前瞻布局,我国“十二五”规划中也将物联网作为战略性新兴产业予以重点关注和推进。但整体而言,无论是国内还是国外,物联网的研究和开发都还处于起步阶段。

### 1.1 物联网的定义

物联网自从诞生以来,已经引起巨大关注,被认为是继计算机、互联网、移动通信网之后的又一次信息产业浪潮。

有关资料表明,国内外普遍认为物联网是麻省理工学院的 Ashton 教授于 1999 年最早提出来的,如图 1-1 所示,其理念是基于射频识别(RFID)、电子代码(EPC)等技术,在互联网的基础上,构造一个实现全球物品信息实时共享的实物互联网,即物联网。此设想有两层意思:第一,物联网的核心和基础是互联网,它是在互联网基础上延伸和扩展的网络;第二,其用户端延伸和扩展到了任何物体与物体之间,并进行信息交换和通信。



图 1-1 物联网定义

2010 年温家宝总理在十一届全国人大三次会议上所作政府工作报告中对物联网做了这样的定义: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。

除了上面的定义之外,还有一些组织机构为物联网做出的定义。

(1) 欧盟对物联网的定义是:将现有的互联的计算机网络扩展到互联的物品网络。

(2) 国际电信联盟(ITU)对物联网的定义是: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)之间的互连。这里与传统互联网不同的是,H2T是指人利用通用装置与物品之间的连接,H2H是指人之间不依赖于个人计算机而进行的互连。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。物联网是连接物品的网络,有些学者在讨论物联网时,常常提到 M2M 的概念,可以解释为人到人(Man to Man)、人到机器(Man to Machine)、机器到机器(Machine to Machine)。本质上,在人与机器、机器与机器的交互中,大部分是为了实现人与人之间的信息交互。

(3) ITU 物联网研究组对物联网的定义是:物联网的核心技术主要是普适网络、下一代网络和普适计算。这 3 项核心技术的简单定义如下,普适网络是指无处不在的、普遍存在的网络;下一代网络是指可以在任何时间、任何地点互连任何物品,提供多种形式信息访问和信息管理的网络;普适计算是指无处不在的、普遍存在的计算。其中下一代网中“互连任何物品”的定义是 ITU 物联网研究组对下一代网定义的扩展,是对下一代网发展趋势的高度概括。从现在已经成为现实的多种装置的互连网络,例如手机互连、移动装置互连、汽车互连、传感器互连等,都揭示了下一代网在“互连任何物品”方面的发展趋势。

目前国内外对物联网还没有一个统一公认的标准定义,但从物联网的本质分析,物联网是现代信息技术发展到一定阶段后,才出现的一种聚合性应用与技术提升,它将各种感知技术、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。因此,物联网技术的发展几乎涉及了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,因此被称为是信息产业的第三次革命性创新。其本质主要体现在三个方面:一是互联网特征,即对需要联网的物一定要能够实现互联互通的互联网络;二是识别与通信特征,即纳入物联网的“物”一定要具备自动识别、物物通信的功能;三是智能化特征,即网络系统应具有自动化、自我反馈与智能控制的特点。

总体上物联网可以概括为:通过传感器、射频识别技术、全球定位系统等技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程的声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息,通过各种可能的网络接入,实现物与物、物与人的泛在连接,从而实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。

因此,把物联网初步定义为是通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物体与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。特别注意的是物联网中的“物”,不是普通意义的万事万物,这里的“物”要满足以下条件:

- (1) 要有相应信息的接收器。
- (2) 要有数据传输通路。
- (3) 要有一定的存储功能。
- (4) 要有处理运算单元(CPU)。
- (5) 要有操作系统。

- (6) 要有专门的应用程序。
- (7) 要有数据发送器。
- (8) 遵循物联网的通信协议。
- (9) 在世界网络中有可被识别的唯一编号。

通过以上分析,可以发现物联网的核心是物与物以及人与物之间的信息交互,其基本特征可简要概括为全面感知、可靠传送和智能处理,如表 1-1 所示。

表 1-1 物联网的三个特征

| 特征   | 说 明                                       |
|------|-------------------------------------------|
| 全面感知 | 利用射频识别、二维码、传感器等感知、捕获、测量技术随时随地对物体进行信息采集和获取 |
| 可靠传送 | 通过将物体接入信息网络,依托各种通信网络,随时随地进行可靠的信息交互和共享     |
| 智能处理 | 利用各种智能计算技术,对海量的感知数据和信息进行分析并处理,实现智能化的决策和控制 |

## 1.2 物联网的发展历程

回顾历史,不知是巧合还是有意,在大的危机之后总会有新的行业诞生,引领和支撑经济的复苏、发展,从而带动社会进入新的经济上升周期。20 世纪末,一系列新兴市场遭受金融危机的冲击后,诞生了互联网这一新兴行业。而在这次人类历史上数一数二的金融危机余波未了时,在人们热切关注新能源行业发展时,又出现一个新名词和新概念——物联网。物联网逐渐成为了人们眼中的“救世主”,尽管仍有一些学术界或者是技术精英对这种说法莫衷一是,但不可否认的是,包括美国在内的一些国家正在试图通过“物联网”走出经济危机的泥潭。信息产业的每一次跨越都不是技术上的偶然发明,而是国家发展战略结出的硕果。

经济危机催生科技信息革命。2009 年 1 月,中国科学院院长路甬祥在接受《瞭望》新闻周刊专访时指出:眼下这场全球性金融危机爆发之时,“科学的沉寂”已达 60 余年,一些重要的科学问题和关键核心技术发生革命性突破的先兆已日益显现。当前国际金融危机对世界经济社会政治格局的影响继续显现,国际国内环境的重大变化对我国经济社会发展已经产生了深刻影响。

当前,由美国次贷危机引发的这场百年不遇的国际金融危机的影响正在全球继续扩散蔓延,尚未见底,有可能持续较长时间,世界经济将经历一个较长的低迷、调整和变革期,全球经济增长快速下滑,能源资源、粮食价格大幅波动,失业率普遍上升,对我国经济的影响不容低估。

世界正处在科技创新突破和科技革命的前夜。这一重要结论的得出,主要基于以下分析。

(1) 历史经验表明,全球性经济危机往往催生重大科技创新突破和科技革命。根据经济长波理论,每一次的经济低谷必定会催生出某些新的技术,而这种技术一定是可以为绝大多数工业产业提供一种全新的使用价值,从而带动新一轮的消费增长和高额的产业投资,以触动新经济周期的形成。1857 年的世界经济危机引发了以电气革命为标志的第二次技术革命,1929 年的世界经济危机引发了战后以电子、航空航天和核能等技术突破为标志的第三次技术革命。依靠科技创新创造新的经济增长点、新的就业岗位和新的经济社会发展模式,是摆脱经济危机、创新经济增长的根本出路。过去的十几年间,互联网技术取得巨大成功。目前的经济危机让人们又不得不面临紧迫的选择,物联网技术成为推动下一个经济增