



# 物联网在中国

邹永华

“十二五”国家重点图书出版规划项目

## 物联网关键技术

徐勇军 刘禹 王峰 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

物联网在中国

“十二五”国家重点图书出版规划项目

国家出版基金项目

# 物联网关键技术

徐勇军 刘禹 王峰 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

近几年,物联网从诞生到迅速发展,受到了产业界及学术界的广泛重视,并上升到国家战略性新兴产业的高度。然而物联网的概念和内涵仍然处于不断发展之中,物联网涉及的技术较多,基于编写团队多年来的科研工作,本书试图探究物联网的“技术基因”,从物联网的感知层、网络层及应用层各选择若干典型有代表性的关键技术进行论述,见微而知著。本书作为“物联网在中国”丛书之一,与其他各册形成有机统一的整体,为其他分册在物联网关键技术方面的有益补充。

本书可以作为物联网领域的科学研究、产业应用、政策制定等方面专业人士的参考书,也可以作为广大物联网相关专业教学及爱好者的技术指导书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

物联网关键技术 / 徐勇军, 刘禹, 王峰编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.6

(物联网在中国)

ISBN 978-7-121-17559-6

I. ①物… II. ①徐… ②刘… ③王… 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 (2012) 第 150352 号

策划编辑: 刘宪兰

责任编辑: 张 京

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 27 字数: 575 千字

印 次: 2012 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

信息技术的高速发展与广泛应用，引发了一场全球性的产业革命，正推动着各国经济的发展与人类社会的进步。信息化是当今世界经济和社会发展的的大趋势，信息化水平已成为衡量一个国家综合国力与现代化水平的重要标志。中国政府高度重视信息化工作，紧紧抓住全球信息技术革命和信息化发展的难得历史机遇，不失时机地将信息化建设提到国家战略高度，大力推进国民经济与社会服务的信息化，以加快实现我国工业化和现代化，并将信息产业作为国家的先导、支柱与战略性产业，放在优先发展的地位上。

党的十五届五中全会明确指出：信息化是覆盖现代化建设全局的战略举措；要优先发展信息产业，大力推广信息技术应用。党的“十六大”把大力推进信息化作为我国在 21 世纪头 20 年经济建设和改革的一项重要任务，明确要求“坚持以信息化带动工业化，以工业化促进信息化”，“走新型工业化道路”。党的“十七大”进一步提出了“五化并举”与“两化融合发展”的目标，再次强调了走新型工业化道路，大力推广信息技术应用与推动国家信息化建设的战略方针。在中央领导的亲切关怀、指导，各部门、各地方及各界的积极参与和共同努力下，我国的信息产业持续高速发展，信息技术应用与信息化建设坚持“以人为本”、科学发展，取得了利国惠民、举世瞩目的骄人业绩。

近几年来，在全球金融危机的大背景下，各国政要纷纷以政治家的胆略和战略思维提出了振兴本国经济、确立竞争优势的关键战略。2009 年，美国奥巴马政府把“智慧地球”上升为国家战略；欧盟也在同年推出《欧洲物联网行动计划》；我国领导在 2009 年提出了“感知中国”的理念，并于 2010 年把包含物联网在内的新一代信息技术等 7 个重点产业，列入“国务院加快培育和发展的战略性新兴产业的决定”中，同时纳入我国“十二五”重点发展战略及规划。日本在 2009 年颁布了新一代信息化战略“i-Japan”；韩国 2006 年提出“u-Korea”战略，2009 年具体推出 IT839 战略以呼应“u-Korea”战略；澳大利亚推出了基于智慧城市和智能电网的国家发展战略；此外，还有“数字英国”、“数字法国”、“新加坡智慧国 2015(iN2015)”等，都从国家角度提出了重大信息化发展目标，作为各国走出金融危机、重振经济的重要战略举措。

物联网在中国的迅速兴起绝非炒作。我们认为它是我国战略性新兴产业——信息产业发展的新的增长点，是中国信息化重大工程，特别是国家金卡工程最近 10 年的创新应用、大胆探索与成功实践所奠定的市场与应用基础，是中国信息化建设在更高层次，

向更广领域纵深发展的必然结果。

近两年来，胡锦涛总书记、温家宝总理等中央领导同志深入基层调研，多次强调要依靠科技创新引领经济社会发展，要注重经济结构调整和发展模式转变，重视和支持战略性新兴产业发展，并对建设“感知中国”、积极发展物联网应用等做出明确指示。中央领导在视察过程中，充分肯定了国家金卡工程银行卡产业发展及城市多功能卡应用和物联网 RFID 行业应用示范工程取得的成果，鼓励我国信息业界加强对超高频 UHF 等核心芯片的研发，并就推动物联网产业和应用发展等问题发表了重要讲话，就加快标准制定、核心技术产品研发、抢占科技制高点、掌握发展主动权等，做出一系列重要指示。我们将全面贯彻落实中央领导的指示精神，进一步发挥信息产业对国家经济增长的“倍增器”、发展方式的“转换器”和产业升级的“助推器”作用，促进两化融合发展，真正走出一条具有中国特色的信息产业发展与国家信息化之路。

我们编辑出版“物联网在中国”系列丛书（以下简称“丛书”），旨在探索中国特色的物联网发展之路，通过全面介绍中国物联网的发展背景、体系架构、技术标准体系、关键核心技术产品与产业体系、典型应用系统及重点领域、公共服务平台及服务业发展等，为各级政府部门、广大用户及信息业界提供决策参考和工作指南，以推动物联网产业与应用在中国的健康有序发展。

“丛书”首批 20 分册将于 2012 年 6 月正式发行，我们衷心感谢国家新闻出版总署的大力支持，将“丛书”列入“十二五”国家重点图书出版规划项目，并给予国家出版基金的支持；感谢国务院各相关部门、行业及有关地方，以及我国信息产业界相关企事业单位对“丛书”编写工作的指导、支持和积极参与；感谢社会各界朋友的支持与帮助。谨以此“丛书”献给为中国的信息化事业奋力拼搏的人们！

“物联网在中国”系列丛书编委会

潘雲鵬

2012 年 5 月于北京

“物联网”的概念自 2009 年被首次提出，就迅速引起了社会的广泛关注。学术界开始大量探讨物联网相关的概念、技术及标准，产业界也开始从多种行业领域加强物联网的应用，高等院校开始开设物联网专业，各大媒体开始对物联网进行大量跟踪报道，资本市场也出现了物联网的概念股，物联网相关的展会、讨论会不断涌现，一时间物联网似乎成了大众话题。物联网发展为“国家战略性新兴产业”，国家 863、973 计划开始支持物联网、2009 年国家重大科技专项启动物联网的支持、“十二五”期间工业和信息化部及发改委均启动了物联网相关的专项资金支持，物联网的概念已经炙手可热。

然而，物联网的内涵究竟是什么？哪些技术是物联网独有的“基因”？物联网专业课题如何设置？哪些产业或产值才真正属于“物联网”？这些问题异常敏感而又难以回避。当前，很多务实的声音正将物联网引向以“落地”为目标的发展思路，“只有夯实物联网的核心技术基础，抛开概念做应用”，物联网才能以独立的新兴产业、科研方向、学科专业而确立存在。

所幸的是，“物联网在中国”系列丛书编委会组织了该系列丛书的编纂工作，中国科学院计算所承担了其中的《物联网关键技术》一书的编写任务。受李国杰院士及崔莉研究员的重托，笔者有幸加入了编写团队，参加了组稿和具体编写工作。虽然此前曾参与过物联网领域相关的十余项国家级科研项目，并参与中国工程院“物联网发展战略规划研究”咨询项目中的关键技术部分的讨论及编写，但要想写好这样一本关键性的书籍，回答好这些大家关心的问题，确实面临很多困难。曾经在相当长一段时间，感觉无从下笔，“为伊消得人憔悴”。眼看丛书其他分册紧锣密鼓地展开编写工作，并逐步成稿，更是食不知味，夜不能寐；后在顾问组、专家组及电子工业出版社的支持和鼓励之下，尝试理清本书的编写思路，并在众多学术同仁、专家提供了大量素材后，才完成了编写重任。

本书试图探究物联网的“技术基因”。首先，从全局的角度综述了物联网总体技术，给读者整体印象，并提到了“云海计算”模式；然后，将后续内容分成 4 篇，按照物联网的 3 个层次，针对射频识别、智能感知、网络协同、服务优化 4 个方面进行描述。考虑到物联网领域在感知层的特色技术较多，因此 4 篇中专门安排了 2 篇进行讲解，而网络层和应用层在丛书的其他分册亦有一定的介绍，故这里各安排 1 篇进行介绍。希望通过全书 13 章内容的介绍，能够对读者了解物联网的技术有一定的帮助。具体如下：

1. 射频识别技术：主要包括 RFID 电子标签、RFID 读写器及 RFID 中间件技术，基本涵盖了 RFID 从天线、射频、芯片一直到应用的主要技术；

2. 智能感知技术：主要包括物联网标识、认知无线电感知及短程无线通信技术，感知层的其他特色技术在《无线传感器网络》分册中介绍；

3. 网络协同技术：主要包括物联网协同技术、物联网时间同步及分布式调度技术，异构异类网络的协同和融合是物联网网络层的重要特色；

4. 服务优化技术：主要包括物联网数据处理、安全数据融合及绿色物联网，这些针对数据、能量及安全方面的优化是应用层的典型需求。

另外，本书作为“物联网在中国”系列丛书之一，与其他各册形成了有机统一的整体，是其他分册在物联网关键技术方面的有益补充。鉴于通信技术、新一代信息网络、物联网体系架构、物联网发展历程、定位导航技术、自组织网络、协议标准、安全技术及各行业应用等内容在其他分册中均有涉及，因此未作为本书的重点。“云海计算”作为物联网的新型计算模式，被视为物联网的“特征”技术，已经被相关学者提出，但由于目前尚未见详细公开发表文献，故未安排独立章节阐述，希望能够在本书后续版本中进行跟踪。

本书主要由中国科学院计算所徐勇军、中国科学院自动化所刘禹、海军装备研究院王峰及诺基亚研究院（中国）陈灿峰等统稿和编写。另外，中国科学院自动化所高强、中国科学院网络中心田野、中国科学院计算所刘强、中国科学院计算所安竹林、中国科学院计算所罗海勇、中国科学院信工所朱红松、清华大学任丰原、北京邮电大学张兴、北京理工大学祝烈煌、中国石油大学徐朝农、西安电子科技大学齐小刚、合肥工业大学夏娜、国家无线电频谱管理研究所郭永明、中国电子器材总公司赵惟和郭达等专家从各自专业领域，提供了大量编写素材、章节内容和技术指导，还有很多未提到的专家、学者、同仁都给予了大量无私的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

作者要特别感谢的是中国科学院计算所李国杰院士、崔莉研究员、洪学海研究员等老师，他们在本书的编写过程中给予编者大量的鼓励和帮助，否则编者不可能有勇气将本书的编写付诸实施；感谢电子工业出版社，特别是刘宪兰老师在本书编写过程中给予的悉心指导和耐心等待，否则不可能在这么短的时间内完成编写工作；本书的编写也受到了国家重大科技专项（2010ZX03006-002，2010ZX03006-007，2011ZX03005-005）、国家 973 项目（2011CB302803）和国家自然科学基金项目（61173132，61003307）等的资助，否则编者也不可能有这么多机会坐下来和专家学者、业内精英进行“头脑风暴”式的沟通和交流。

值得一提的是，物联网相关概念的探讨还在继续，物联网技术及应用的发展日新月异，我们需要以科学发展的眼光来看待物联网。

由于本书编写时间紧、任务重，作者在物联网领域的研究还不够深入，因此，书中选材、论述等错误在所难免，还望广大读者能够多加理解，及时联系作者并共同修正，以期在后续版本中进行完善。

作者

2012 年 5 月

# CONTENTS



|                |    |
|----------------|----|
| 第 1 章 物联网技术概论  | 1  |
| 1.1 物联网概念及背景   | 2  |
| 1.1.1 物联网相关概念  | 2  |
| 1.1.2 物联网基本架构  | 3  |
| 1.1.3 物联网产业情况  | 4  |
| 1.2 物联网技术现状及分布 | 5  |
| 1.2.1 物联网技术概述  | 5  |
| 1.2.2 物联网感知层技术 | 7  |
| 1.2.3 物联网网络层技术 | 8  |
| 1.2.4 物联网应用层技术 | 10 |
| 1.3 物联网的两种计算模式 | 11 |
| 1.3.1 物联网云计算模式 | 12 |
| 1.3.2 物联网海计算模式 | 12 |
| 1.4 物联网技术展望    | 14 |
| 1.5 小结         | 15 |
| 参考文献           | 15 |

## 第一篇 射频识别技术

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 2 章 RFID 电子标签技术       | 19 |
| 2.1 RFID 标签的组成、分类及面临的挑战 | 20 |
| 2.1.1 RFID 标签基本组成       | 20 |
| 2.1.2 RFID 标签的分类        | 21 |
| 2.1.3 RFID 标签发展面临的挑战    | 23 |
| 2.2 RFID 标签的反向散射        | 26 |
| 2.2.1 电磁波的散射            | 26 |
| 2.2.2 雷达基本原理            | 27 |



|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.2.3 RFID 系统的反向散射调制 .....         | 29 |
| 2.3 RFID 天线 .....                  | 30 |
| 2.3.1 天线基础 .....                   | 31 |
| 2.3.2 天线的特征参数 .....                | 33 |
| 2.3.3 UHF 频段 RFID 天线的种类 .....      | 36 |
| 2.4 RFID 标签芯片设计及制造技术 .....         | 38 |
| 2.4.1 RFID 标签芯片的组成 .....           | 38 |
| 2.4.2 标签电路芯片化设计 .....              | 41 |
| 2.4.3 芯片制造技术 .....                 | 42 |
| 2.5 标签功能性测试 .....                  | 43 |
| 2.6 标签功能参考测试环境 .....               | 43 |
| 2.6.1 标签频率范围 .....                 | 46 |
| 2.6.2 标签解调能力 .....                 | 48 |
| 2.6.3 标签信号占空比 .....                | 50 |
| 2.6.4 标签导言信号波形 .....               | 52 |
| 2.6.5 标签后向链路频率容限 .....             | 55 |
| 2.6.6 标签后向链路时间参数 T1 .....          | 57 |
| 2.6.7 标签后向链路（读写器前向链路）时间参数 T2 ..... | 58 |
| 2.7 小结 .....                       | 61 |
| 参考文献 .....                         | 62 |

### 第 3 章 RFID 读写器技术 .....

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.1 读写器概述 .....        | 64 |
| 3.1.1 读写器的基本功能 .....   | 64 |
| 3.1.2 读写器的工作原理 .....   | 64 |
| 3.1.3 读写器的基本组成 .....   | 65 |
| 3.2 读写器的形式与工作模型 .....  | 67 |
| 3.2.1 固定式读写器 .....     | 68 |
| 3.2.2 OEM 模块 .....     | 70 |
| 3.2.3 便携式读写器 .....     | 71 |
| 3.2.4 读写器的天线结构 .....   | 72 |
| 3.3 读写器相关技术 .....      | 73 |
| 3.3.1 读写器技术的发展趋势 ..... | 73 |
| 3.3.2 防碰撞方法 .....      | 74 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 3.3.3 读写器管理技术 .....           | 81        |
| 3.4 读写器功能性测试 .....            | 83        |
| 3.4.1 读写器功能参考测试环境 .....       | 83        |
| 3.4.2 读写器数据编码 .....           | 85        |
| 3.4.3 读写器 RF 包络 .....         | 86        |
| 3.4.4 读写器导言信号 .....           | 87        |
| 3.4.5 读写器上电与下电波形 .....        | 88        |
| 3.4.6 读写器时间参数 T3 .....        | 89        |
| 3.4.7 读写器时间参数 T4 .....        | 92        |
| 3.5 小结 .....                  | 93        |
| 参考文献 .....                    | 94        |
| <b>第 4 章 RFID 中间件技术 .....</b> | <b>95</b> |
| 4.1 RFID 中间件 .....            | 96        |
| 4.1.1 RFID 中间件概述 .....        | 96        |
| 4.1.2 RFID 中间件的功能定位 .....     | 96        |
| 4.1.3 RFID 中间件的分类 .....       | 98        |
| 4.1.4 典型 RFID 中间件产品 .....     | 98        |
| 4.1.5 RFID 中间件的发展趋势 .....     | 102       |
| 4.2 RFID 大规模应用模式 .....        | 103       |
| 4.2.1 应用整合问题 .....            | 103       |
| 4.2.2 三种应用模式 .....            | 104       |
| 4.3 RFID 数据安全性 .....          | 106       |
| 4.3.1 RFID 系统的安全隐患 .....      | 107       |
| 4.3.2 保护 RFID 数据安全的解决方案 ..... | 108       |
| 4.3.3 大规模应用的安全策略 .....        | 109       |
| 4.4 RFID 典型应用 .....           | 110       |
| 4.5 小结 .....                  | 114       |
| 参考文献 .....                    | 115       |

## 第二篇 智能感知技术

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <b>第 5 章 物联网标识技术 .....</b> | <b>119</b> |
| 5.1 物联网标识命名与分配 .....       | 120        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5.1.1 对象标识 .....          | 121 |
| 5.1.2 通信标识 .....          | 127 |
| 5.1.3 应用标识 .....          | 128 |
| 5.2 物联网解析与寻址 .....        | 129 |
| 5.2.1 标识解析与寻址概述 .....     | 129 |
| 5.2.2 标识解析体系 .....        | 130 |
| 5.2.3 标识解析技术简介 .....      | 132 |
| 5.2.4 标识寻址体系 .....        | 138 |
| 5.3 物联网发现服务 .....         | 141 |
| 5.3.1 物联网标识发现服务概述 .....   | 141 |
| 5.3.2 物联网标识发现服务体系 .....   | 142 |
| 5.3.3 物联网标识发现服务技术简介 ..... | 143 |
| 5.4 标识安全与隐私 .....         | 145 |
| 5.5 小结 .....              | 147 |
| 参考文献 .....                | 148 |

## 第6章 认知无线电感知 .....

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 6.1 物联网频谱资源 .....              | 152 |
| 6.1.1 物联网的频谱支撑能力面临严峻挑战 .....   | 152 |
| 6.1.2 物联网传输层频谱需求分析 .....       | 153 |
| 6.1.3 物联网传感层频谱需求分析 .....       | 156 |
| 6.2 认知无线电传感器网络 .....           | 157 |
| 6.2.1 认知无线电传感器网络的节点及网络结构 ..... | 159 |
| 6.2.2 现有传感器网络的服务质量保证 .....     | 161 |
| 6.2.3 动态频谱接入的服务质量保证 .....      | 168 |
| 6.3 CRSN 相关产品和设备 .....         | 173 |
| 6.3.1 软件无线电概述 .....            | 173 |
| 6.3.2 软件无线电的关键技术 .....         | 174 |
| 6.3.3 软件无线电主要产品和设备 .....       | 175 |
| 6.4 CRSN 应用领域 .....            | 181 |
| 参考文献 .....                     | 182 |

## 第7章 短程无线通信 .....

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1 蓝牙 (Bluetooth) ..... | 190 |
|--------------------------|-----|

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 7.1.1 蓝牙的版本 .....                      | 190 |
| 7.1.2 传统蓝牙 .....                       | 191 |
| 7.1.3 低功耗蓝牙 .....                      | 193 |
| 7.2 Wi-Fi/802.11 系列 .....              | 195 |
| 7.2.1 WLAN 与 IEEE 802.11 .....         | 196 |
| 7.2.2 Wi-Fi 与 IEEE 802.11a/b/g/n ..... | 198 |
| 7.2.3 低功耗 Wi-Fi .....                  | 199 |
| 7.3 ZigBee .....                       | 201 |
| 7.3.1 ZigBee 与 IEEE 802.15.4 .....     | 202 |
| 7.3.2 ZigBee 与蓝牙技术的对比 .....            | 205 |
| 7.4 其他低功耗通信技术 .....                    | 205 |
| 7.4.1 超宽带 .....                        | 205 |
| 7.4.2 射频识别 .....                       | 207 |
| 7.4.3 近场通信 .....                       | 208 |
| 7.4.4 红外数据传输 .....                     | 209 |
| 7.4.5 Insteon .....                    | 210 |
| 7.4.6 Z-Wave .....                     | 212 |
| 7.4.7 ANT .....                        | 213 |
| 7.5 小结 .....                           | 215 |
| 参考文献 .....                             | 216 |

## 第三篇 网络协同技术

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 8 章 物联网协同技术 .....                  | 223 |
| 8.1 物联网协同问题 .....                    | 224 |
| 8.1.1 基本概念 .....                     | 224 |
| 8.1.2 物联网协同的必要性 .....                | 225 |
| 8.1.3 物联网协同的难点和挑战 .....              | 226 |
| 8.2 物联网协同联盟技术 .....                  | 228 |
| 8.2.1 协同联盟生成 .....                   | 229 |
| 8.2.2 协同联盟形成 .....                   | 230 |
| 8.2.3 通信机制 .....                     | 233 |
| 8.2.4 协同联盟的生成、形成及任务完成 .....          | 236 |
| 8.2.5 协同联盟技术在无线传感器网络目标跟踪中的应用实例 ..... | 236 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 8.3 物联网协商技术.....                  | 240        |
| 8.3.1 协商 .....                    | 240        |
| 8.3.2 合同网 .....                   | 241        |
| 8.3.3 基于协商的物联网协同方法.....           | 242        |
| 8.4 物联网协同的其他技术.....               | 246        |
| 8.4.1 基于组织结构设计的方法.....            | 246        |
| 8.4.2 基于分布式约束满足的方法.....           | 248        |
| 8.4.3 基于代理的方法 .....               | 251        |
| 8.5 小结 .....                      | 252        |
| 参考文献 .....                        | 253        |
| <b>第 9 章 物联网时间同步.....</b>         | <b>257</b> |
| 9.1 网络时间同步问题基本概念.....             | 258        |
| 9.1.1 时间同步问题简介 .....              | 258        |
| 9.1.2 分布式系统时间同步的基本方法.....         | 261        |
| 9.1.3 时间同步的应用 .....               | 264        |
| 9.1.4 物联网时间同步问题特点.....            | 266        |
| 9.2 传输层时间同步协议.....                | 267        |
| 9.2.1 网络同步协议 NTP.....             | 267        |
| 9.2.2 IEEE 1588.....              | 268        |
| 9.3 感知层时间同步协议.....                | 270        |
| 9.3.1 基于报文的传统传感网时间同步协议.....       | 270        |
| 9.3.2 基于外部时钟源的传感网时间同步方法.....      | 275        |
| 9.3.3 基于脉冲耦合振荡器模型的传感网时间同步协议 ..... | 279        |
| 9.4 小结 .....                      | 283        |
| 参考文献 .....                        | 283        |
| <b>第 10 章 物联网分布式调度.....</b>       | <b>287</b> |
| 10.1 分布式调度背景 .....                | 288        |
| 10.2 无线网络的干扰模型 .....              | 289        |
| 10.2.1 符号约定 .....                 | 289        |
| 10.2.2 物理干扰模型 .....               | 290        |
| 10.2.3 协议干扰模型 .....               | 290        |
| 10.3 基于图算法的调度技术.....              | 291        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 10.3.1 分布式节点调度算法       | 292 |
| 10.3.2 分布式链路调度算法       | 295 |
| 10.4 基于最优化方法的分布式调度技术   | 297 |
| 10.4.1 两个例子            | 298 |
| 10.4.2 优化分解方法          | 299 |
| 10.4.3 对两个例子的求解        | 302 |
| 10.5 拓扑透明的调度技术         | 304 |
| 10.5.1 基于组合设计的拓扑透明调度技术 | 304 |
| 10.5.2 三状态调度           | 310 |
| 10.6 小结                | 312 |
| 参考文献                   | 312 |

## 第四篇 服务优化技术

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第 11 章 物联网数据处理          | 319 |
| 11.1 物联网的数据构成及网络数据特点    | 320 |
| 11.1.1 物联网的数据构成         | 320 |
| 11.1.2 物联网的数据特点         | 321 |
| 11.2 物联网感知层的数据获取与优化     | 322 |
| 11.2.1 数据采集             | 322 |
| 11.2.2 数据获取             | 323 |
| 11.2.3 RFID 网络的拓扑结构优化设计 | 324 |
| 11.3 物联网传输层的数据处理与优化     | 327 |
| 11.3.1 数据预处理技术          | 327 |
| 11.3.2 物联网数据处理技术        | 328 |
| 11.3.3 物联网寻址技术          | 330 |
| 11.3.4 数据传输优化技术         | 331 |
| 11.4 小结                 | 339 |
| 参考文献                    | 339 |
| 第 12 章 物联网安全数据融合        | 343 |
| 12.1 物联网数据融合技术          | 344 |
| 12.1.1 无线传感器网络数据融合      | 344 |
| 12.1.2 RFID 数据融合        | 347 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 12.1.3 无线传感器网络与 RFID 数据融合 | 348        |
| 12.2 物联网数据融合存在的安全威胁       | 350        |
| 12.2.1 无线传感器网络面临的安全威胁     | 350        |
| 12.2.2 RFID 面临的安全威胁       | 352        |
| 12.2.3 物联网数据融合面临的安全威胁     | 354        |
| 12.3 无线传感器网络安全数据融合技术      | 355        |
| 12.3.1 安全数据融合的主要阶段        | 356        |
| 12.3.2 完整性保护安全数据融合协议      | 357        |
| 12.3.3 机密性保护安全数据融合协议      | 366        |
| 12.4 小结                   | 370        |
| 参考文献                      | 370        |
| <b>第 13 章 绿色物联网</b>       | <b>373</b> |
| 13.1 绿色物联网的由来与发展          | 374        |
| 13.1.1 通信绿色化的发展趋势         | 374        |
| 13.1.2 绿色物联网的必要性          | 375        |
| 13.1.3 物联网中能耗来源           | 378        |
| 13.1.4 国内外标准化组织中绿色物联网现状   | 382        |
| 13.2 绿色感知传感层技术            | 383        |
| 13.2.1 高能效的信息采集           | 384        |
| 13.2.2 高能效的信息汇聚           | 388        |
| 13.2.3 未来展望               | 392        |
| 13.3 绿色网络接入与承载层           | 392        |
| 13.3.1 接入子层节能技术           | 393        |
| 13.3.2 承载子层节能技术           | 401        |
| 13.3.3 未来展望               | 403        |
| 13.4 绿色计算管理和应用            | 403        |
| 13.4.1 基于虚拟化的云计算          | 404        |
| 13.4.2 硬件设备低功耗技术          | 407        |
| 13.4.3 基础设施低功耗技术          | 409        |
| 13.4.4 未来展望               | 412        |
| 13.5 小结                   | 412        |
| 参考文献                      | 412        |



# 第 1 章

## 物联网技术概论

### 内容提要

物联网已成为各国构建经济社会发展新模式和重塑国家长期竞争力的先导领域，在最近几年，我国多次从国家战略的高度对物联网的发展进行了强调和部署。工业和信息化部电信研究院 2011 年公布了《物联网白皮书》对物联网的内涵及架构体系、产业现状及标准体系进行了详细阐述，并总结了未来我国在物联网领域的机遇和挑战，该白皮书是物联网领域较权威的公开发行人物，本章进行了重点参考。作为本书的提要部分，本章简要从物联网的三个不同层次介绍物联网的整体技术体系，给读者一个整体的印象，并对物联网的核心技术计算模式进行一定的展开，最后对物联网技术发展进行了展望。后续章节将针对每一层次中的技术进行重点介绍。





## 1.1 物联网概念及背景

关于物联网的定义有很多版本，目前尚没有一个公认的完整定义。很多定义都是研究者从自身领域出发给出的，包括传感器、传感器网络、射频识别（RFID）、互联网等，这里也并不试图对物联网进行定义，仅结合《物联网白皮书》对物联网的各项关键技术进行分类阐述。

### 1.1.1 物联网相关概念

物联网（Internet of Things, IoT）概念最早于 1999 年由美国麻省理工学院提出，后来不同国家或行业的专业人员都从不同的角度重新进行了诠释，目前研究界及产业界仍未形成明确统一的定义。即便是国际电信联盟在以物联网为主题的 2005 年互联网年终报告，也没有确切地定义物联网。目前国内关于物联网的定义也是五花八门，总体来说，主要包括狭义和广义两种。

狭义的物联网是指依托射频识别（RFID）技术的物流网络，随着技术和应用的发展，特别是随着传感器网络的出现，很多学者认为物联网就是无线传感器网络，或者是传感器网络和 RFID 的合称。但随着物联网在国内外被更多行业所关注，其内涵也获得了更大范围的扩展。

广义的物联网是指在物理世界的客观实体中部署具有一定感知能力、计算能力和执行能力的各种信息传感设备，通过网络设施实现信息传输、协同和处理，实现广域或大范围的人与物、物与物之间信息交换需求的互连、互通、互操作。物联网依托多种信息获取技术，包括传感器、传感器网络、RFID、条形码、多媒体采集技术等。虽然物联网的定义还存在很多争议，但其三个重要层次——“感知（交互）、网络（传输）、应用（处理）”已经获得了广泛共识。

《物联网白皮书（2011）》认为：物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别，通过网络传输互连，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连接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

物联网的概念还在发展之中，具有越来越丰富的内涵，需要用动态、发展的眼光来看待。物联网充分利用了不断创新和发展的计算机技术、网络技术、软件技术、传感技术、通信技术等多种信息技术，广泛开发和利用人类世界与物理世界的各种信息资源，促进人与人、人与物、物与物之间的信息交流，深化全社会的知识共享程度，以信息和知识含量更高的处理方式提高经济社会的发展质量，推动无所不包、无所不在、无所不能的信息社会的形成。