

ZigBee技术原理与实战

杜军朝 刘惠 刘传益 马海潮 等编著



附光盘

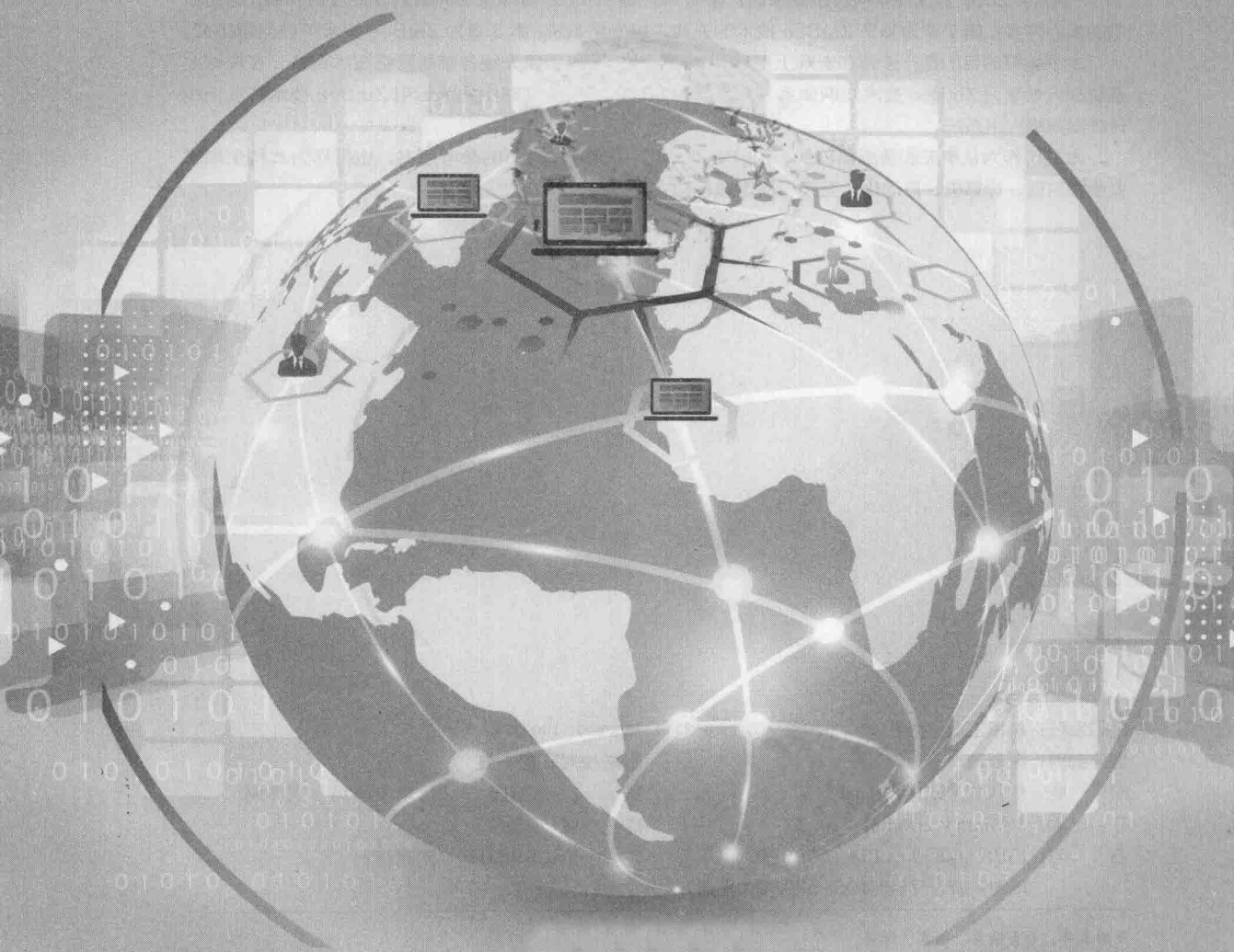


机械工业出版社
China Machine Press

“十二五”国家重点出版物出版规划项目
物联网

ZigBee技术原理与实战

杜军朝 刘惠 刘传益 马海潮 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

ZigBee 技术原理与实战 / 杜军朝等编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.11
(物联网工程专业规划教材)

ISBN 978-7-111-48096-9

I. Z… II. 杜… III. 无线网—高等学校—教材 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 224247 号

本书深入分析和实践了一门新兴无线通信技术——ZigBee。全书深入浅出、循序渐进地从原理到实践、从实验到实战, 系统全面地讲述了 ZigBee 通信技术原理、Z-Stack 协议栈以及在工程实践中的应用实例。全书共分为 8 章: 第 1 章为 ZigBee 技术背景概述; 第 2 章为 ZigBee 无线传感器网络通信标准; 第 3 章为 ZigBee 常用射频芯片介绍; 第 4 章为 ZigBee 技术软硬件开发环境介绍; 第 5 章为 TI Z-Stack 2007 协议栈架构及重要术语; 第 6 章为基于 TI Z-Stack 2007/Pro 的应用实践 (这是本书的核心内容); 第 7 章为基于 ZigBee 技术的无线工控网络系统; 第 8 章为 ZigBee 技术关键问题研究。

本书编写的目的是让读者在宏观上把握 ZigBee 技术及其所属无线传感器网络技术背景, 在理论上系统地学习 ZigBee 技术知识体系并熟悉具体原理细节, 在实践中熟练运用 ZigBee 技术开发无线传感器网络应用系统。

本书可作为从事无线传感器网络、ZigBee 技术等研究开发人员的参考用书, 也可作为本科生和研究物联网、计算机、自动化、无线通信等课程的实用教材。



出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 张梦玲

责任校对: 殷虹

印刷: 中国电影出版社印刷厂

版次: 2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 23.5

书号: ISBN 978-7-111-48096-9

定价: 59.00 元 (附光盘)

ISBN 978-7-89405-539-2 (光盘)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

物联网工程专业规划教材

编 委 会

编委会主任 邬贺铨（中国工程院院士）

编委会副主任 傅育熙（上海交通大学）

蒋宗礼（北京工业大学）

王志英（国防科技大学）

陈道蓄（南京大学）

编委（以姓氏拼音为序）

桂小林（西安交通大学）

黄传河（武汉大学）

蒋建伟（上海交通大学）

李士宁（西北工业大学）

秦磊华（华中科技大学）

王 东（上海交通大学）

温莉芳（机械工业出版社）

吴功宜（南开大学）

朱 敏（四川大学）



序

网络正在深刻地改变人类的生产和生活方式。随着感知识别技术的发展，以传感器和智能识别终端为代表的设备能够准确快捷地完成对物理世界的感知、测量和测控；随着芯片成本的不断降低，可联网的终端数目激增；同时人们对来自物理世界的信息需求也与日俱增，进而希望让所有能够独立寻址的普通物理对象网络化，从而实现人类社会和物理系统的信息整合。于是，便催生了一种新型的网络——物联网（Internet of Things）。

物联网形式多样、技术复杂、涉及面广，融合了半导体、传感器、通信技术、计算机等多种技术。按照信息获取、传递和处理的原则，可以将物联网划分为感知识别层、网络传输层和应用服务层，各层之间相对独立又紧密联系。网络传输层连接感知识别层和应用服务层，具有强大的桥梁作用，并要能高效、稳定、及时、安全地传输上下层数据，因此是物联网中重要的基础设施，扮演着重要的角色。正所谓“大鹏一日同风起，扶摇直上九万里”，网络传输层的关键技术就是这股“风”，助推“大鹏”物联网的发展。网络传输层具有互联网、无线宽带网、无线低速网、移动通信网等网络形式。本书介绍的 ZigBee 技术就属于无线低速网络范畴，其能够满足物理世界的联网需求，并已展现出广阔的市场前景。

ZigBee 究竟是一种什么类型的技术呢？ZigBee 在中国被译为“紫蜂”，主要用于短距离的无线连接，依据 IEEE 802.15.4 通信标准，只需很少的能量，便能以接力的方式通过无线电波实现微小传感器之间的相互协调通信。蓝牙技术和 ZigBee 技术相似，但对家庭自动化控制和工业遥测、遥控领域而言，其结构复杂，功耗大，距离短，组网规模小。而工业现场的无线数据传输必须是高可靠的，并能抵抗各种电磁干扰。ZigBee 正是为工业现场自动化控制数据传输建立的，具有简单、方便、可靠、低成本、低功耗等优势。

在章节组织上，本书没有直接对 ZigBee 技术展开论述，而是首先介绍了 ZigBee

技术所属的物联网、无线传感器网络领域的背景，综述了 ZigBee 的技术简介、基础、特点以及应用。然后，从原理方面阐述了 ZigBee 的技术细节。最后，本书递进地介绍了 ZigBee 技术软硬件开发基础、实践进阶、项目案例和技术研究。本书知识地图清晰明朗、理论与实践并重、语言浅显易懂、结构层次分明、图文并茂，同时作者也善举例类比、旁征博引。

本书是编者对国内外 ZigBee 技术研究成果的分析和整理，且难能可贵的是：此书归纳和总结了作者科研小组多年来的科研成果、项目经验和技術积累。相信本书将是国内一部优秀的 ZigBee 技术书籍，也希望本书能够成为该领域科研工作者、相关工程人员以及教师、同学的重要参考书，并对物联网领域技术普及和发展起到重要的作用。



前 言

ZigBee 简介

ZigBee 技术是一种近距离、低功耗、低速率、低成本的无线通信技术，兼具经济、可靠、易于部署等优势，已成为无线传感器网络中最具潜力和研究价值的技术，在工业控制、环境监测、智能家居、医疗护理、安全预警、目标追踪等应用场合已展现出广阔的市场前景。

与传统网络类似，ZigBee 无线传感器网络也需要相应的网络协议支持。ZigBee 联盟采用 IEEE 802.15.4 标准作为 ZigBee 网络的物理层和介质访问控制层（MAC）规范，并以此为基础制定网络层和应用层规范。一些国际知名的大公司和组织依据 ZigBee 的标准和规范实现了各自的协议栈，如德州仪器（TI）的 Z-Stack^[119]，飞思卡尔（Freescale）的 BeeStack^[122]。ZigBee 应用项目开发也需要以这些协议栈为基础。

本书特色

目前，市面上介绍 ZigBee 技术的书籍主要分为两种：一种是介绍 IEEE 802.15.4 标准和 ZigBee 联盟规范的原理书，虽然全面详细，但读者不易理解 ZigBee 技术在实际中的应用；另一种是讲解 Z-Stack 官方例程的实践书，虽然具有一定指导性，但大都是对 ZigBee 技术泛泛而谈，更类似于 Z-Stack 使用手册。鉴于此，本书结合作者在 ZigBee 无线传感器网络具体项目上的经验，深入地分析了 ZigBee 网络通信原理和 Z-Stack 协议栈，提炼并剖析了多个具有代表性的协议栈案例。

本书特点是从原理到实践，从实验到实战，利用 TI 公司 CC2530 片上系统，并基于 Z-Stack 2007/Pro 协议栈，循序渐进地引导读者深入地理解 ZigBee 技术，进而掌握如何使用 ZigBee 技术来完成自己的项目需求。

本书的编写目的是让读者在宏观上把握 ZigBee 及其所属无线传感器网络的背

景，在理论上系统地学习 ZigBee 技术并熟悉具体原理细节，在实践中熟练运用 ZigBee 技术开发无线传感器网络应用系统。

章节安排

全书共分为 8 章，章节组织如下：

第 1 章，ZigBee 技术背景概述。本章首先介绍 ZigBee 所属的无线传感器网络领域应用现状、网络特点、关键技术、应用前景等，然后讲述 ZigBee 技术在无线传感器网络中的位置、目的、功能、特点以及运行机理。

第 2 章，ZigBee 无线传感器网络通信标准。ZigBee 网络技术大致由三部分组成：一是由 IEEE 定义的 802.15.4 标准，其构成了 ZigBee 网络协议的物理层和介质访问控制层；二是由 ZigBee 联盟制定的网络层和应用层规范；三是由用户根据需求在应用层规划的协议。本章结合编者的 ZigBee 网络项目实践，参考 Z-Stack 协议栈实现，阐述了 IEEE 802.15.4 标准以及 ZigBee 网络层和应用层规范。

第 3 章，ZigBee 常用射频芯片介绍。第 2 章讲述了 ZigBee 网络通信标准等理论知识，然而 ZigBee 网络并不是空中楼阁，需要特定射频芯片和硬件平台承载运行。本章首先介绍一些领先半导体生产厂商推出的支持 IEEE 802.15.4 标准的射频芯片，如 TI CC253X^[117]、Freescale MC1319X^[120]、Ember EM35X^[123]，然后介绍一些用于学习、开发 ZigBee 网络应用的硬件平台。

第 4 章，ZigBee 技术软硬件开发环境介绍。古语说得好：工欲善其事，必先利其器。为了提高项目开发效率，读者需要选择合适的软硬件开发工具，搭建开发环境，并使用抓包工具分析调试程序，以帮助读者尽快排查无线网络中出现的问题。本章最后几节带领读者利用 Z-Stack 例程建立一个新的应用工程。虽然建立的是一个空工程，但是这将是读者运用 ZigBee 协议栈实践自己工程项目的基础。新建应用工程是一个必不可少的过程，同时也是最重要的环节之一。

第 5 章，TI Z-Stack 2007 协议栈架构及重要术语。与传统基于 TCP/IP 网络的应用类似，ZigBee 项目开发也需要网络协议栈作为基础。一些国际知名的大公司和组织也实现了自己的 ZigBee 协议栈。本章通过深入介绍 TI Z-Stack 2007 协议栈让读者理解 ZigBee 标准和规范对应代码层次的实现，并掌握 Z-Stack 协议栈架构和操作系统调度运行机理。本章还介绍了 Z-Stack 各层间原语通信的实现，同时也罗列并阐述了在 ZigBee 应用开发中容易引起读者困惑的重要术语（这些困惑是编者在开发过程中也曾经遇到的）。本章最后讲述了 Z-Stack 中网络的运行机理，以便读者深入理解协议栈的执行。

第 6 章，基于 TI Z-Stack 2007/Pro 的应用实践（这是本书的核心内容）。编者根据 ZigBee 无线工控网络的实现，从不同方面提炼出多个具有代表性的典型案例。

- 创建 ZigBee 协议栈工程：介绍怎样创建一个新的工程、添加应用层任务并完成简单事件的处理，实现简单的 ZigBee 网络。
- ZigBee 建网和入网：详细阐述了 ZigBee 网络组建过程，并利用抓包工具 Packet Sniffer 分析数据在 ZigBee 网络中的传输流程。
- ZigBee 网络自诊断：使用串口 UART1 实现 ZigBee 网络系统的自诊断，方便程序调试，判断网络中的故障点。
- ZigBee 网络外部环境数据采集：利用传感器节点采集外部环境温度、光照等信息，构建一个具有实际意义的无线传感器网络。
- ZigBee 网络的 AES 数据加密：为了避开设备干扰和防止数据信息被窃听，ZigBee 网络通过采用数据加密技术提高系统运行的安全性。
- ZigBee 多跳组播：ZigBee 网络工作组内设备可以接收组播数据包，而组外设备将无法接收，进而实现对特定设备的分组管理。

第 7 章，基于 ZigBee 技术的无线工控网络系统。本章素材来自一个具体的产学研项目，让读者身临其境地感受如何运用 ZigBee 技术开发无线传感器网络实际应用系统。该项目主要研究 ZigBee 大规模网络在新型工业缝制设备中的部署，推广物联网产业化应用。该系统利用 ZigBee 自组织网络，实时进行数据采集和高可靠传输，并通过自主研发的硬件网关设备，将数据上传至后台监控服务系统以完成数据统计、分析和预测。该系统已经完成大面积部署，并在一些服装厂得到了有效运用，效果良好。

第 8 章，ZigBee 技术关键问题研究。本章探讨 ZigBee 无线传感器网络性能提升方面的高级话题，可供读者深入学习研究 ZigBee 技术。

- 调整 ZigBee 网络节点发射功率：考虑到 ZigBee 网络节点能源供应受限问题，通过合理调节发射功率，降低节点能量消耗，进而延长 ZigBee 网络寿命。
- ZigBee 网络的 LQI（链路质量指示）、RSSI（信号强度）、丢包率：考虑到实际 ZigBee 网络部署环境的复杂多变性，LQI、RSSI、丢包率等性能指标对 ZigBee 网络资源的分配调度具有重要参考意义。
- 影响 ZigBee 网络数据传输速率的因素：考虑到节点间的通信距离、发射功率、障碍物以及节点干扰等因素对数据发送速率的影响，进一步测试、评估数据传输速率能否满足实际应用需要。
- ZigBee 网络多信道调度：为提高 ZigBee 网络规模，利用 ZigBee 多信道特性建立多个 PAN 网络；节点根据多个网络的负载程度有选择性地加入网络；由于某种原因与网络断开连接后，节点自动切换信道加入另一个可用网络，以增强网络灵活性和对外界环

境的抗干扰性。

- ZigBee 网络低功耗模式机制研究：考虑到网络节点间通信频率较低的应用场合，ZigBee 节点依据某种策略进行周期性休眠与唤醒，这对减少 ZigBee 网络能量消耗，实现低占空比（Low Duty-Cycle）网络具有重要参考意义。

本书用法

本书可作为无线传感器网络、ZigBee 技术相关领域研究开发人员的案头参考用书，以及物联网、计算机、自动化、无线通信等相关专业本科生、研究生的实用教材。

（1）作为工程技术人员和研究人员参考用书

对于专业技术研究开发人员而言，建议读者先浏览本书的前 3 章，然后从第 4 章搭建软硬件开发环境开始重点学习。通过学习第 5 章，读者可快速了解 TI Z-Stack 协议栈开发基础。通过第 6 章 TI Z-Stack 2007/Pro 应用实践的学习，读者可快速入门 TI Z-Stack 程序开发，构建一个具有实际意义的 ZigBee 网络。第 7 章可为读者提供实际无线传感器网络应用项目解决方案的思路。如果实际项目对网络性能有要求，读者可研读第 8 章。如果需要继续研究 ZigBee 技术，读者可再次深入学习本书前 4 章的理论知识。

（2）作为教材或教学参考用书

本书兼顾系统性和通用性，且理论性与实践性并重，可作为 54 学时的 ZigBee 技术原理与应用教材。建议学生在学习第 6 章协议栈实践部分时，要经常联系第 2 章 ZigBee 通信原理内容，通过原理和实践相结合的方式可更迅速、熟练地掌握 ZigBee 技术。

（3）对初学 ZigBee 技术读者的建议

- 1) 首先应了解 ZigBee 所属无线传感器网络领域的特征及基本概念。
- 2) ZigBee 技术是软硬件结合的技术，硬件和软件的学习同样重要。建议初学者尽量购买市面上成熟的 ZigBee 模块和协议栈产品，迅速搭建好软硬件开发平台。并学习、完成关于单片机芯片（如 CC2530）的基础实践项目，了解 CC2530 芯片的基本结构，尤其是如何配置相关寄存器。
- 3) 通过学习第 6 章的简单示例程序来了解具体编程方法，熟悉开发软件和 ZigBee 网络操作。并结合应用需求，利用现有程序模板进行项目开发。
- 4) 了解 ZigBee 协议架构，结合 ZigBee 无线通信标准原理熟悉 Z-Stack 的层次和结构。
- 5) 经常参考 IEEE 802.15.4 标准、ZigBee 规范、模块及射频芯片原理图、Z-Stack 开发、Z-Stack 应用 API 等文档。

6) 运行和修改本书中的案例源代码是学习 ZigBee 技术编程的很好方法。

7) 当利用开发板测试程序和验证功能正确后, 读者就可以考虑开发自己的电路板了, 将外围器件整合到 ZigBee 模块上或者将 ZigBee 模块嵌入到其他设备中。这样有利于 ZigBee 设备小型化、精简化、集成化、低成本化和产品化。

西安电子科技大学移动计算和物联网系统实验室自 2006 年就开始了传感器网络技术的研究, 并先后获得了国家科技重大专项、国家自然科学基金、教育部科学技术研究重点项目等纵向课题的研究, 同时中兴通讯公司产学研基金也多次资助实验室开展研究。自 2010 年, 实验室开始研发基于 ZigBee 的软硬件系统, 并研发了终端节点和网关设备, 开发了面向特定行业的软件系统。在项目实施中, 为了能够将相关技术传承下来, 教师指导研究生撰写了大量的技术报告和学习报告来记录相关技术的实验, 这为本书奠定了坚实的基础。刘传益同学提议将这些技术整理一下, 撰写成书, 以为同行和同学提供帮助。采纳了他的建议后, 让实验室的科研小组撰写了大纲的初稿, 后经过师生多次讨论, 确定了书稿的内容。整个科研小组都为本书的编写作出了贡献。第一稿完成后, 杜军朝、刘惠、刘传益和马海潮又进行了若干轮的反复修订和统稿。

本书从决心要写, 到提纲形成, 再到分工编写成稿、案例验证、反复修订、统稿, 直到和读者见面, 历经四年多的时间, 凝结着整个科研小组的心血。为方便读者学习, 本书还有配套光盘, 其包含了本书的例程代码。同时, 王利敏、张荧俊、张捷同学在他们过往的研究生涯中为科研小组留下了珍贵的无线传感器网络资料, 在此表示感谢。

本书许多原创性实验为刘传益和冀维臻同学合作完成的, 在暑假期间, 两人夜以继日地调试 ZigBee 模块。而对于其他参与者而言, 李旋是个技术爱好者, 善写博文, 涉猎广泛, 乐于钻研。姚家胜做事认真, 高标准, 严要求, 极富文档编写能力。刘志富天资聪颖, 思路敏捷, 软硬兼吃, 他曾“研究”过 ZigBee 原理、操作系统调度, 也曾“刻画”过硬件 PCB 电路板。李兴是编程大牛, 依稀记得他在编程时, 戴着耳麦, 盯着屏幕, 猛敲键盘。科研小组的成员李晓军、刘文涛、薛鹏、孔鑫、张应昌同学也积极参与了本书的编写和修订。

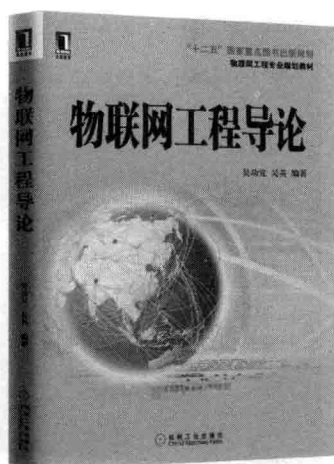
机械工业出版社华章公司的编辑们在本书的编写和出版过程中也提供了很多宝贵的指导意见。感谢 TI 公司对本书的支持。本书同时也凝聚了很多 ZigBee 领域科研、工作、学习人员的智慧和见解。在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中难免出现错误和不妥之处, 敬请广大读者批评指正。

编者 2014 年 10 月

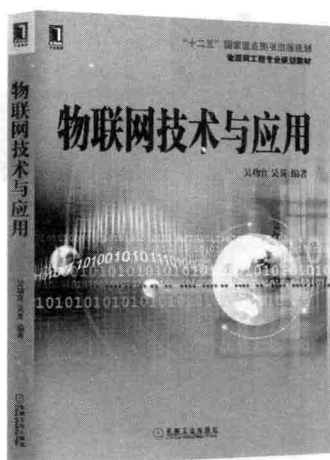
于西安电子科技大学老校区

推荐阅读



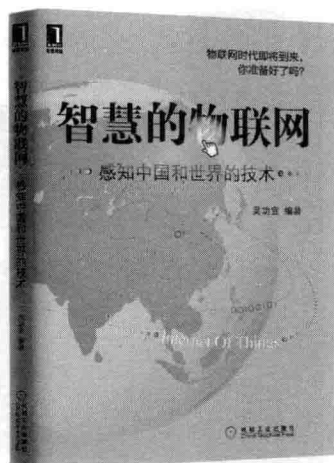
物联网工程导论

作者：吴功宜等 ISBN：978-7-111-38821-0 定价：49.00元



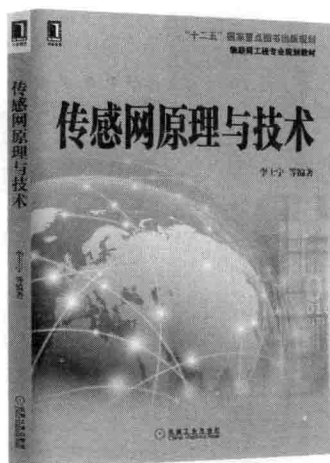
物联网技术与应用

作者：吴功宜等 ISBN：978-7-111-43157-2 定价：35.00元



智慧的物联网——感知中国和世界的技术

作者：吴功宜 ISBN：978-7-111-30710-5 定价：36.00元



传感网原理与技术

作者：李士宁等 ISBN：978-7-111-45968-2 定价：39.00元

推荐阅读



TCP/IP详解 卷1：协议（英文版·第2版）

作者：Kevin R. Fall 等 ISBN：978-7-111-38228-7 定价：129.00元



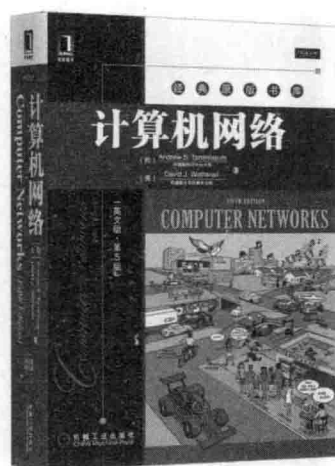
计算机网络：系统方法（英文版·第5版）

作者：Larry L. Peterson 等 ISBN：978-7-111-37720-7 定价：139.00元



计算机网络教程：自顶向下方法（英文版）

作者：Behrouz A. Forouzan 等 ISBN：978-7-111-37430-5 定价：79.00元



计算机网络（英文版·第5版）

作者：Andrew S. Tanenbaum 等 ISBN：978-7-111-35925-8 定价：99.00元

目 录



序 前言

第1章 ZigBee 技术背景概述 /1

1.1 无线传感器网络概述 /1

1.1.1 无线传感器网络的发展和现状 /2

1.1.2 无线传感器网络的体系结构 /6

1.1.3 无线传感器网络的特点 /8

1.1.4 无线传感器网络的典型应用 /10

1.1.5 无线传感器网络的关键技术 /14

1.1.6 无线传感器网络介质访问控制协议与路由协议 /19

1.2 ZigBee 技术概述 /23

1.2.1 ZigBee 技术简介 /23

1.2.2 ZigBee 技术基础 /26

1.2.3 ZigBee 网络的特点 /37

1.2.4 ZigBee 技术应用 /40

第2章 ZigBee 无线传感器网络通信标准 /43

2.1 IEEE 802.15.4 标准 /48

2.1.1 物理层 /49

2.1.2 介质访问控制层 /55

2.2 ZigBee 规范 /92

2.2.1 网络层规范 /95

2.2.2 应用层规范 /128

第3章 ZigBee 常用射频芯片介绍 /148

3.1 TI CC2530 芯片介绍 /149

3.1.1 芯片特性 /149

3.1.2 CPU 与内存 /153

3.1.3 I/O 与外围设备接口 /167

3.1.4 TI CC2530 与 CC2430 的比较 /172

3.2 MC13192/MC13193 芯片介绍 /173

3.2.1 芯片特性 /173

3.2.2 电气特性 /177

3.2.3 推荐工作条件 /177

3.3 EM351/EM357 芯片介绍 /177

3.3.1 CPU 与内存 /179

3.3.2 I/O 与外围设备接口 /180

第4章 ZigBee 技术软硬件开发环境介绍 /184

4.1 硬件开发平台介绍 /185

4.1.1 TI CC2530 最小模块 /185

- 4.1.2 底板模块 /187
- 4.2 软件开发环境介绍 /193
 - 4.2.1 TI Z-Stack 协议栈安装 /193
 - 4.2.2 开发环境 IAR 介绍 /197
 - 4.2.3 SmartRF Packet Sniffer /203
- 4.3 新建应用工程 /204
 - 4.3.1 复制和重命名文件 / 文件夹 /204
 - 4.3.2 编辑项目文件 /207
 - 4.3.3 编辑源程序 /207
 - 4.3.4 验证修改的项目和源程序 /208
- 第 5 章 TI Z-Stack 2007 协议栈架构及重要术语 /210**
 - 5.1 TI Z-Stack 协议栈架构分析 /211
 - 5.1.1 TI Z-Stack 项目文件组织 /211
 - 5.1.2 系统初始化 /212
 - 5.1.3 操作系统任务管理 /213
 - 5.1.4 TI Z-Stack 层间原语通信 /218
 - 5.2 TI Z-Stack 应用层重要术语 /219
 - 5.2.1 规约 /219
 - 5.2.2 协议栈规约 /220
 - 5.2.3 属性 /221
 - 5.2.4 群集 /221
 - 5.2.5 端点 /222
 - 5.2.6 绑定 /223
 - 5.3 TI Z-Stack 网络运行机理 /227
 - 5.3.1 网络寻址 /227
 - 5.3.2 路由机制 /230
- 第 6 章 基于 TI Z-Stack 2007/Pro 的应用实践 /233**
 - 6.1 创建 ZigBee 协议栈工程 /233
 - 6.2 ZigBee 建网和入网 /245
 - 6.3 ZigBee 网络自诊断 /256
 - 6.4 ZigBee 网络外部环境数据 采集 /263
 - 6.5 ZigBee 网络的 AES 数据 加密 /272
 - 6.6 ZigBee 多跳组播 /275
- 第 7 章 基于 ZigBee 技术的无线 工控网络系统 /286**
 - 7.1 系统介绍 /286
 - 7.2 系统演示 /288
 - 7.3 系统实现 /289
 - 7.3.1 系统总体设计 /289
 - 7.3.2 系统数据交互协议 /290
 - 7.3.3 ZigBee 网关实现 /292
 - 7.3.4 ZigBee 网络的实现 /293
- 第 8 章 ZigBee 技术关键问题研究 /296**
 - 8.1 调整 ZigBee 网络节点 发射功率 /296
 - 8.2 ZigBee 网络的 LQI、RSSI 和 包接收率 /302
 - 8.3 影响 ZigBee 网络数据传输 速率的因素 /310
 - 8.4 ZigBee 网络多信道调度 /316
 - 8.5 ZigBee 网络低功耗模式 机制研究 /329
- 附录 A TI Z-Stack 2007/Pro 编译 选项 /339**
- 附录 B TI Z-Stack 2007/Pro 重要数 据结构 /342**
- 附录 C 部分 ZigBee 协议原语及其 TI Z-Stack 实现形式 /350**
- 延伸阅读 /358**

第 1 章 ZigBee 技术背景概述

ZigBee 技术是一种新兴的短距离无线传感器网络标准，具有低成本、低功耗、体积小等特性，兼具经济、可靠、易于部署等优势，恰好顺应了市场需求，在工业控制、环境监测、智能家居、医疗护理、安全预警、目标追踪等应用场合已展现出广阔的市场前景，且 ZigBee 网络已成为无线传感器网络中最具发展潜力和研究价值的网络之一。

翻开 ZigBee 技术的篇章，物联网和无线传感器网络则是不得不提的话题。本章首先介绍 ZigBee 所属无线传感器网络领域的应用现状、网络特点、关键技术、应用前景等，然后讲述 ZigBee 技术在无线传感器网络中所处的位置、目的、功能、特点以及运行机理。

1.1 无线传感器网络概述

随着个人计算机、计算机网络的普及，信息化已经成为时代大潮，网络已逐渐成为我们的生活必需品。就在人们不断地将网络的触角延伸、实现“存在的即是上网的”理想的时候，融合了传感器技术、信息处理技术和网络通信技术的无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）技术应运而生。无线传感器网络发展迅速，其应用已经渗透到社会的各行各业，且存在由短距离到长距离，由大功耗到低功耗，由红外线到 ZigBee 的各种形式。

无线传感器网络是由大量静止或移动的廉价微型传感器组成的多跳自组织无线网络，通过协作的方式感知、采集、处理和传输对象的监测信息。无线传感器网络具有三种典型的感知、传输和处理功能，对应着现代信息技术的三大基础技术：传感器技术、通信技术和计算机技术。

物联网（The Internet of Things）是将物与物进行连接并完成信息通信的网络，其将是下一个推动世界科技高速发展的重要动力。物联网的定义是：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，把任何物品都与互联网连接起来，并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。



无线传感器网络作为物联网的一部分，其涉及物联网的感知层和传输层，可以随时随地获取被控、测物体的信息，并完成数据信息传输。这些信息感知设备与互联网连接在一起，以便进行更为复杂的信息交换和通信。因此，无线传感器网络对物联网发展起着至关重要的作用。

无线传感器网络作为获取现实世界信息的一种重要工具，使人类认识现实世界的触手伸得更远，信息化的程度更高。传感器就像无线传感器网络中的一只只触手，改变人类与自然界的交互方式。无线传感器网络能够扩展现有网络的互联功能，提高人类认知物理世界的的能力，是近年来新兴的技术领域，受到了全社会普遍关注。

1.1.1 无线传感器网络的发展和现状

无线传感器网络起初来源于军方研究，并有着广阔的应用前景，在国家安全、环境监测、交通管理、空间探索等领域具有重大的应用价值，因而引起了军界、工业界和学术界的高度关注。美国《商业周刊》和 MIT《技术评论》，将无线传感器网络列为 21 世纪最有影响的 21 项技术和改变世界的 10 大技术之一。

1. 无线传感器网络发展历程

与很多技术一样，WSN 的发展最初也是由军方驱动的。早期的声音监测系统（Sound Surveillance System, SOSUS）、空中预警与控制系统（Airborne Warning and Control System, AWACS）都是最早的 WSN。到如今可以认为 WSN 的发展经历了四个阶段，如图 1-1 所示^[116]。

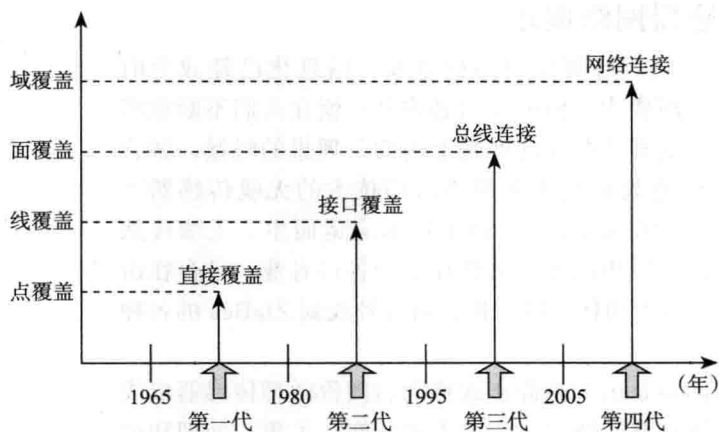


图 1-1 WSN 的发展历程

普遍认为无线传感器网络在 20 世纪 70 年代初现端倪。具有简单信息信号获取能力的传统传感器利用点对点线路和控制器的简单网络构成了 WSN 的雏形。这一个阶段的研究主要来自美国军方和国家科学基金会资助的一些项目。如 1978 年，由美国国防部高级研究计划署（The Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）在卡内基梅隆大学（Carnegie Mellon University）主办的分布式传感器网络研讨会上，出于军事防御系统的需要，此会提出对 WSN 的通信与计算之间的权衡展开研究。第二代 WSN 的出现可追溯到 20 世纪 80 年代，这一代的 WSN 具有信息综合感知能力、通信能力和计算能力，并采用串、并接口（如 RS232、RS485）与传感控制器相连，构成具有多种综合信息处理能力的 WSN。