



国家级特色专业（物联网工程）规划教材



物联网 与短距离无线通信技术

董 健 编著

- ◎ 阐述了物联网与短距离无线通信技术的关系
- ◎ 深入讲解了物联网中常用的9种短距离无线通信技术
- ◎ 配有教学课件，方便教学使用



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

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网与短距离 无线通信技术

董 健 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是依托中南大学国家级特色专业（物联网工程）的建设，结合国内物联网工程专业的教学情况编写的。本书主要介绍在物联网应用中常用的短距离无线通信技术，内容包括蓝牙、ZigBee（紫蜂）、无线局域网（WLAN）、IrDA（红外）、RFID（射频识别）、近场通信（NFC）技术、超宽带（UWB）技术、60 GHz 无线通信技术、Ad hoc 网络（自组网）技术等，在介绍每种短距离无线通信技术时，均采用循序渐进的讲述方式，有助于快速引导读者进入短距离无线通信技术这一生机勃勃的研究领域。

本书可作为普通高等学校物联网工程专业的教材，也可供从事物联网及其相关专业的人士阅读。

本书配有教学用的 PPT 课件，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载。

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

物联网与短距离无线通信技术/董健编著. —北京：电子工业出版社，2012.9

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

ISBN 978-7-121-18152-8

I. ①物… II. ①董… 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
③无线电通信—高等学校—教材 IV. ①TP393.4 ②TP18 ③TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 205951 号

责任编辑：田宏峰

印 刷：三河市双峰印刷装订有限公司

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：787×980 1/16 印张：18.75 字数：410 千字

印 次：2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：45.00 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 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

出版说明

物联网是通过射频识别 (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,把任何物品与互联网相连接,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概念。物联网是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。物联网产业具有产业链长、涉及多个产业群的特点,其应用范围几乎覆盖了各行各业。

2009年8月,物联网被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一,写入“政府工作报告”,物联网在中国受到了全社会极大的关注。

2010年年初,教育部下发了高校设置物联网专业申报通知,截至目前,我国已经有100多所高校开设了物联网工程专业,其中有包括中南大学在内的9所高校的物联网工程专业于2011年被批准为国家级特色专业建设点。

从2010年起,部分学校的物联网工程专业已经开始招生,目前已经进入专业课程的学习阶段,因此物联网工程专业的专业课教材建设迫在眉睫。

由于物联网所涉及的领域非常广泛,很多专业课涉及其他专业,但是原有的专业课的教材无法满足物联网工程专业的教学需求,又由于不同院校的物联网专业的特色有较大的差异,因此很有必要出版一套适用于不同院校的物联网专业的教材。

为此,电子工业出版社依托国内高校物联网工程专业的建设情况,策划出版了“国家级特色专业(物联网工程)规划教材”,以满足国内高校物联网工程的专业课教学的需求。

本套教材紧密结合物联网专业的教学大纲,以满足教学需求为目的,以充分体现物联网工程的专业特点为原则来进行编写。今后,我们将继续和国内高校物联网专业的一线教师合作,以完善我国物联网工程专业的专业课程教材的建设。

电子工业出版社

教材编委会

编委会主任：施荣华 黄东军

编委会成员：（按姓氏字母拼音顺序排序）

董 健	高建良	桂劲松	贺建飏
黄东军	刘连浩	刘少强	刘伟荣
鲁鸣鸣	施荣华	张士庚	

编写背景

物联网技术被认为是继计算机、互联网之后信息产业的第三次浪潮，是通过物物互连实现感知世界的技术手段。物联网是在现有网络框架基础上的延伸，数量庞大的物联网终端将实现范围更加广阔的互连互通。物联网的出现，将信息互通的方式从 H2H（Human to Human）延伸至 M2M（Machine to Machine），为信息化提供了更加广阔的空间。这无疑也为传统的无线通信技术提供了基于泛在物联网络的新的发展契机。

短距离无线通信技术的范畴比较广泛，根据 CCSA 泛在网技术工作委员会（TC10）感知/延伸工作组（WG4）关于泛在网术语的最新商定，短距离无线通信技术一般指有效通信距离在厘米到百米范围内的无线通信技术。短距离无线通信技术旨在解决近距离设备的连接问题，可以支持动态组网并灵活实现与上层网络的信息交互功能。该技术定位满足了物联网终端组网，以及物联网终端网络与电信网络互连互通的要求，是短距离无线通信技术在物联网发展背景下彰显活力的根本原因。短距离无线技术已经广泛应用于热点覆盖、家庭办公网络、家庭数字娱乐、智能楼宇、物流运输管理等方面，并以其丰富的技术种类和优越的技术特点，满足了物物互连的应用需求，逐渐成为物联网架构体系的主要支撑技术。

本书是“国家级特色专业（物联网工程）规划教材”之一。目前，市面上的物联网教材多是“物联网导论”、“物联网基础”等之类的书籍，侧重介绍物联网的基本概念、基本原理以及相关应用等综述性知识，而介绍物联网的相关核心技术的专门教材比较少。就短距离无线通信技术而言，据作者前期的调研，国内目前尚未出版同类的专业教材。在过去十多年时间里，人们对短距离无线通信技术的研究与应用取得了丰硕的成果，但这些成果大多散落在论文、报告、标准、网页等中，因此编写一本全面概括短距离无线通信技术及其物联网相关应用的教材，有助于快速引导读者进入这一生机勃勃的研究领域。这也是作者编写本书的初衷。

内容安排

本书系统全面地介绍物联网架构体系中的重要支撑技术——短距离无线通信技术的基本概念、基本原理、技术特点、应用范围及发展前景等，内容包括蓝牙、Zigbee（紫蜂）、

无线局域网 (WLAN)、IrDA (红外)、RFID (射频识别)、近场通信 (NFC) 技术、超宽带 (UWB) 技术、60 GHz 无线通信技术、Ad hoc 网络 (自组网) 技术等。全书共分 10 章, 各章内容安排如下:

第 1 章为概述。首先概要介绍物联网的概念与发展, 并简单描述物联网的体系结构和关键技术。然后介绍物联网通信, 包括移动通信、宽带无线接入、短距离无线通信以及无线传感网络等。最后对多种典型的短距离无线通信技术进行了简要概述并分析比较各自的特点。

第 2 章介绍蓝牙。首先介绍蓝牙技术的发展及技术特点。然后, 从蓝牙基带层协议、链路管理和逻辑链路控制与适应协议、主机控制接口功能规范和 RFCOMM 协议这几方面介绍蓝牙协议体系。接着从分析微微网入手介绍蓝牙的网络拓扑结构和路由机制, 通过分析通用接入协议子集、串口协议子集和服务发现应用协议子集, 详细介绍蓝牙协议子集和应用规范。最后简要介绍蓝牙技术的应用。

第 3 章介绍 ZigBee。首先介绍 ZigBee 技术的概念、特点以及发展历程。接着着重介绍 ZigBee 协议栈结构及其安全问题。然后介绍 ZigBee 网络拓扑结构、组网技术和路由协议。最后介绍 ZigBee 无线传感器网络的工作模式及特点, 并展望 ZigBee 的应用前景。

第 4 章介绍无线局域网 (WLAN)。首先介绍 WLAN 的技术标准, 通过与有线接入网的比较, 介绍 WLAN 的技术特点。然后重点介绍 WLAN 的物理层、MAC 层技术和网络安全技术。最后介绍 WLAN 的具体应用。

第 5 章介绍 IrDA (红外)。首先简要介绍 IrDA 的发展情况。然后详细描述 IrDA 标准和两种规范——物理层规范和链接建立协议层规范, IrDA 协议栈作为红外通信的核心, 本章从核心协议层和可选协议层两方面介绍 IrDA 协议栈。最后简要介绍 IrDA 的应用。

第 6 章介绍 RFID (射频识别)。首先从射频的概念和自动识别技术的起源与发展讲起, 试图给出一个广阔的知识背景。接着介绍 RFID 技术的基本原理、系统组成、技术特点、技术标准等。然后从天线、防碰撞技术、安全与隐私三个方面重点阐述 RFID 的关键技术。最后介绍 RFID 技术的发展前景。

第 7 章介绍近场通信 (NFC) 技术。首先简述 NFC 的概念、发展历程和技术特点。然后详细介绍 NFC 的技术原理, 包括工作原理、工作模式以及技术标准等, 并对 NFC 安全问题进行讨论。最后, 介绍 NFC 的应用及发展前景。

第 8 章介绍超宽带 (UWB) 技术。首先概述 UWB 技术的产生、发展、技术特点以及信道传播特征。接下来从脉冲成形、调制与多址、接收机等方面介绍 UWB 的关键技术。然后详细描述 UWB 的系统和技术方案。最后介绍 UWB 的应用和研究方向。

第 9 章介绍 60 GHz 无线通信技术。首先简要介绍 60 GHz 毫米波无线通信的技术特点以及优势。然后概述 60 GHz 无线通信国内外发展现状以及标准化概况, 总结当前 60 GHz 无线通信的关键技术, 包括收发电路、天线、电路集成等技术。最后介绍 60 GHz 无线通信技术的应用。

第 10 章介绍 Ad hoc 网络(自组网)。首先概述 Ad hoc 技术的起源与发展、特点以及关键技术等。接着重点介绍 Ad hoc 技术的 MAC 协议和路由协议。然后介绍移动 Ad hoc 网络的 QoS 相关研究,包括 QoS 服务模型、QoS 信令等。最后介绍 Ad hoc 技术的应用。

本书汇聚了短距无线通信领域最具实际应用意义的研究成果,不仅介绍各项技术的基本原理、技术特点及其在物联网中的应用等,而且对该领域的最新前沿课题给予关注,为读者进一步的深入研究奠定基础。

本书配有教学课件,读者可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费注册后下载。

致谢

在本书的编写过程中,作者参阅了国内外有关各种短距离无线通信技术的研究成果,具体内容已列在每章末尾的参考文献中。在此对所参阅文献和论文的作者表示衷心的感谢!

感谢中南大学信息科学与工程学院副院长施荣华教授、计算机工程系主任黄东军教授对本书撰写的大力支持和悉心指导!作为中南大学物联网专业的学科带头人,两位教授为本书的选题、内容组织以及审阅付出了大量的心血。中南大学信息科学与工程学院研究生谢羽嘉、朱炫滋、叶睿、王浩等人为本书的资料收集、录入、排版校对、绘图等做了大量的工作,在此一并表示感谢。

本书得以顺利出版,还要感谢电子工业出版社和本书责任编辑田宏峰先生的大力支持与辛勤工作。田宏峰编辑的热情高效、细致负责的工作方式给作者留下了深刻的印象。

由于作者水平有限,本书错误和疏漏之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见和建议,以便再版时改进。联系邮箱:dongjian@mail.csu.edu.cn。

董 健

2012 年 8 月于长沙

第 1 章 概述	1
1.1 物联网概述	2
1.1.1 物联网的概念	2
1.1.2 物联网的发展	3
1.1.3 物联网的体系结构	5
1.1.4 物联网的关键技术	8
1.2 物联网通信	12
1.2.1 移动通信	13
1.2.2 宽带无线接入	17
1.2.3 短距离无线通信	24
1.2.4 无线传感器网络	25
1.3 短距离无线通信技术概览	27
1.3.1 蓝牙	28
1.3.2 Wi-Fi	30
1.3.3 IrDA	31
1.3.4 ZigBee	32
1.3.5 RFID	33
1.3.6 NFC	34
1.3.7 UWB	36
1.3.8 60 GHz	36
1.3.9 Z-Wave	37
1.3.10 小结	37
1.4 本章小结	39
思考与练习	40
参考文献	40

第 2 章 蓝牙	43
2.1 蓝牙技术概述	44
2.1.1 蓝牙技术发展概况	44
2.1.2 蓝牙的技术特点	45
2.1.3 蓝牙系统组成	47
2.2 蓝牙协议体系结构	49
2.2.1 蓝牙核心协议	50
2.2.2 电话控制协议	55
2.2.3 主机控制接口功能规范	56
2.2.4 RFCOMM 协议	57
2.3 蓝牙组网与蓝牙路由机制	58
2.3.1 蓝牙网络拓扑结构	58
2.3.2 蓝牙路由机制	58
2.4 蓝牙协议子集及应用规范	62
2.4.1 通用接入协议子集	62
2.4.2 串口协议子集	64
2.4.3 服务发现应用协议子集	66
2.5 蓝牙技术的应用	67
2.6 本章小结	70
思考与练习	70
参考文献	70
第 3 章 ZigBee	73
3.1 ZigBee 技术概述	74
3.1.1 ZigBee 发展概况	74
3.1.2 ZigBee 技术的特点	75
3.1.3 ZigBee 的应用目标	76
3.2 ZigBee 协议栈	77
3.2.1 ZigBee 协议架构及其特点	77
3.2.2 ZigBee 协议栈体系安全	82
3.2.3 安全密钥	84
3.3 ZigBee 组网技术	84
3.3.1 ZigBee 网络层	84
3.3.2 ZigBee 网络节点的结构	85
3.3.3 组建网络	85
3.4 ZigBee 路由协议分析	87

3.4.1	网络层地址分配机制	87
3.4.2	ZigBee 的路由协议	88
3.5	基于 ZigBee 的无线传感器网络	89
3.5.1	基于 ZigBee 的无线传感器网络	90
3.5.2	ZigBee 无线传感器网络的工作模式	92
3.6	ZigBee 的应用	93
3.7	本章小结	96
	思考与练习	97
	参考文献	97
第 4 章	无线局域网	99
4.1	WLAN 概述	100
4.1.1	WLAN 技术标准	100
4.1.2	WLAN 的技术特点	103
4.1.3	WLAN 的拓扑结构	104
4.2	WLAN 物理层技术	106
4.2.1	IEEE 802.11	106
4.2.2	IEEE 802.11b	107
4.2.3	IEEE 802.11a/g	108
4.2.4	IEEE 802.11n	109
4.3	WLAN 的 MAC 层技术	109
4.3.1	CSMA/CA	110
4.3.2	DCF 与 PCF	111
4.4	WLAN 网络安全技术	112
4.4.1	WEP	113
4.4.2	WPA/RSN	113
4.4.3	身份认证及密钥管理	115
4.5	WLAN 的应用	118
4.5.1	WLAN 的典型应用	118
4.5.2	WLAN 与其他技术的比较	120
4.6	本章小结	123
	思考与练习	123
	参考文献	123
第 5 章	IrDA	125
5.1	IrDA 概述	126

5.1.1	IrDA 的技术特点	126
5.1.2	IrDA 的发展概述	128
5.2	IrDA 技术标准	129
5.2.1	物理层规范 (IrPHY)	129
5.2.2	连接建立协议层 (IrLAP)	133
5.3	基于 IrDA 协议栈的红外通信	133
5.3.1	IrDA 协议栈	133
5.3.2	核心协议层	135
5.3.3	可选协议层	138
5.4	IrDA 的应用	140
5.5	本章小结	140
	思考与练习	141
	参考文献	141
第 6 章	RFID	143
6.1	RFID 基础	144
6.1.1	射频基础	144
6.1.2	自动识别技术概述	148
6.2	RFID 的基本原理	153
6.2.1	RFID 的工作原理	153
6.2.2	RFID 的系统组成	155
6.2.3	RFID 的技术特点	159
6.2.4	RFID 的技术标准	160
6.3	RFID 的关键技术	163
6.3.1	RFID 的天线	163
6.3.2	防碰撞技术	166
6.3.3	安全与隐私问题	168
6.4	RFID 技术的应用	172
6.4.1	RFID 技术的应用背景	172
6.4.2	RFID 技术的重要参数	173
6.4.3	RFID 技术的典型应用	175
6.4.4	RFID 技术的应用前景	176
6.5	本章小结	178
	思考与练习	178
	参考文献	179

第 7 章 近场通信技术	183
7.1 NFC 概述	184
7.1.1 NFC 的概念	184
7.1.2 NFC 的发展	185
7.1.3 NFC 的技术特点	187
7.2 NFC 的技术原理	188
7.2.1 工作原理	188
7.2.2 技术标准	189
7.2.3 工作模式	192
7.3 NFC 的安全问题	194
7.3.1 链路层安全	194
7.3.2 应用层安全	195
7.4 NFC 的应用与发展前景	195
7.4.1 NFC 的应用	195
7.4.2 NFC 的发展前景	197
7.5 本章小结	198
思考与练习	199
参考文献	199
第 8 章 超宽带技术	201
8.1 UWB 技术概述	202
8.1.1 UWB 技术的产生与发展	202
8.1.2 UWB 的技术特点	204
8.1.3 UWB 的信道传播特征	206
8.2 UWB 的关键技术	207
8.2.1 UWB 的脉冲成形技术	207
8.2.2 UWB 的调制与多址技术	209
8.2.3 UWB 接收机的关键技术	212
8.3 UWB 的系统方案	214
8.3.1 单带系统	215
8.3.2 多带系统	216
8.4 UWB 技术的标准化	217
8.4.1 UWB 技术标准之争	217
8.4.2 DS-UWB 方案	218
8.4.3 MB-OFDM-UWB 方案	219

8.5	UWB 的应用及研究方向	220
8.5.1	UWB 的应用	220
8.5.2	UWB 的研究方向	221
8.6	本章小结	223
	思考与练习	223
	参考文献	224
第 9 章	60 GHz 无线通信技术	225
9.1	60 GHz 无线通信技术概述	227
9.1.1	60 GHz 无线通信技术的特点	227
9.1.2	60 GHz 无线通信的优势	229
9.1.3	60 GHz 无线通信技术发展现状	231
9.2	60 GHz 无线通信的标准化	234
9.2.1	标准化概况	234
9.2.2	IEEE 802.15.3c 协议简介	236
9.2.3	ECMA-387 简介	239
9.3	60 GHz 无线通信关键技术	239
9.3.1	信道研究	239
9.3.2	收发机结构	240
9.3.3	天线技术	240
9.3.4	调制技术	240
9.3.5	电路集成技术	241
9.4	60 GHz 无线通信的应用	241
9.5	本章小结	244
	思考与练习	244
	参考文献	245
第 10 章	Ad hoc 网络	247
10.1	Ad hoc 网络概述	248
10.1.1	Ad hoc 网络的起源与发展	248
10.1.2	Ad hoc 网络的特点	249
10.1.3	Ad hoc 网络的体系结构	251
10.1.4	Ad hoc 网络的关键技术	254
10.2	Ad hoc 网络的 MAC 协议	255
10.2.1	信道接入的公平性	256
10.2.2	隐藏终端与暴露终端问题	257

10.2.3	MAC 协议中的跨层设计	259
10.2.4	节能 MAC 协议	259
10.2.5	MAC 协议的 QoS 保障	260
10.3	Ad hoc 网络的路由协议	261
10.3.1	Ad hoc 网络的单播路由协议	262
10.3.2	Ad hoc 网络的多播路由协议	266
10.4	Ad hoc 网络的 QoS 研究	267
10.4.1	QoS 概述	267
10.4.2	Ad hoc 网络的 QoS 服务模型	270
10.4.3	Ad hoc 网络的 QoS 信令	271
10.5	Ad hoc 网络的应用	272
10.5.1	Ad hoc 网络的应用领域	272
10.5.2	Ad hoc 传感器网络	273
10.6	本章小结	275
	思考与练习	275
	参考文献	276
附录 A	缩略语英汉对照表	278

第 1 章

概 述

20 世纪 40 年代计算机的发明,使得人们对信息的理解和处理能力大大加强,信息作为一种独立的因素和力量开始深刻地塑造和改变人类世界。到了 20 世纪 90 年代,互联网的兴起大大加强了信息的传播能力,一个信息快速产生、流通和消亡的虚拟空间就此诞生。到了今天,互联网已经成为一个无比庞大的虚拟数字世界,包含着海量的信息,连接着数以十亿计的网络用户。进入 21 世纪以来,随着传感设备、嵌入式系统与互联网的普及,物联网被认为是继计算机、互联网之后的第三次信息革命浪潮。物联网已经在全世界得到极大重视,主要工业化国家纷纷提出了各自的物联网发展战略。

1.1 物联网概述

1.1.1 物联网的概念

最初的物联网(Internet Of Things, IOT)也称为传感网,它是将各种信息传感设备,如射频识别(RFID)装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等装置,与互联网结合起来而形成的一个巨大网络,其目的是让所有物品都与网络连接在一起,方便识别和管理。

美国总统奥巴马于 2009 年 1 月 28 日与美国工商业领袖举行了一次“圆桌会议”,作为仅有的两名代表之一,IBM 首席执行官彭明盛首次提出了“智慧地球”这一概念。智慧地球,就是把感应器嵌入和配置到电网、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,并且被普遍连接,形成物联网。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公司 RFID 部门负责人 Lorent Ferderix 博士给出了欧盟对物联网的定义: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、虚拟的特性和智能的接口,并与信息网络无缝整合。物联网将与媒体互联网、服务互联网和企业互联网一道,构成未来的互联网。

目前,对物联网有一个为业界基本接受的定义:物联网是通过各种信息传感设备及系统[如传感器网络、射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)、红外感应器、条码与二维码、全球定位系统、激光扫描器等]和其他基于物物通信模式的短距离无线传感器网络,按约定的协议,把任何物体通过各种接入网与互联网连接起来所形成的一个巨大的智能网络,通过这一网络可以进行信息交换、传递和通信,以实现对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。

上述定义同时说明了 IOT 的技术组成和联网的目的。如果说互联网可以实现人与人之间的交流,那么 IOT 则可以实现人与物、物与物之间的连通。按照这一定义,IOT 的概念模型如图 1.1 所示。

从图 1.1 中可以看到,物联网将生活中的各类物品与它们的属性标识后连接到一张巨大的互联网上,使得原来只是人与人交互的互联网升级为连接世界万物的物联网。通过物联网,人们可以获得任何物品的信息,而对这些信息的提取、处理并合理运用将使人类的生