

21世纪高等学校规划教材 | 物联网



# 物联网技术及应用 实验与习题解析

薛燕红 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 物联网



# 物联网技术及应用 实验与习题解析

薛燕红 编著

清华大学出版社  
北京

### 内 容 简 介

本书由两部分构成,第一部分讲述物联网实验,第二部分是习题与思考题及其参考答案。第一部分包括无线传感网络基础实验、物联网中间件实验、射频识别系统实验以及相关的综合实验。第二部分给出了物联网相关技术的习题与思考题及其参考答案。

本书内容新颖,知识丰富,图文并茂,可读性强。

本书可作为高等院校物联网专业和通信类、计算机类、工程类、管理类及经济类专业物联网技术课程的实践教材,也可供从事物联网技术开发、应用、研究与产业管理工作人员参考。

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

物联网技术及应用实验与习题解析/薛燕红编著. —北京:清华大学出版社,2014

21世纪高等学校规划教材·物联网

ISBN 978-7-302-36435-1

I. ①物… II. ①薛… III. ①互联网络—应用—教学参考资料 ②智能技术—应用—教学参考资料 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 096681 号

责任编辑:魏江江 赵晓宁

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

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:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.75

字 数:394千字

版 次:2014年11月第1版

印 次:2014年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00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

本书由两部分构成,第一部分讲述物联网实验,第二部分是习题与思考题及其参考答案。第一部分包括无线传感网络基础实验、物联网中间件实验、射频识别系统实验以及相关的综合实验。第二部分给出了物联网相关技术的习题及其参考答案。本书可以独立使用,也可与《物联网技术及应用》(薛燕红编著,清华大学出版社出版)配套使用。

第一部分共有7章,前2章分别为无线传感网络和射频识别技术的基础知识;第3章为无线传感网络实验平台概述;第4章为无线传感网络基础实验;第5章为物联网中间件及综合演示系统;第6章为C/S架构下桌面应用程序实验;第7章为射频识别实验系统及实验项目。第二部分是习题与思考题及其参考答案,共有11章。第1章为物联网基本概念;第2章为信息自动识别技术;第3章为射频识别与产品电子编码;第4章为传感器与微机电系统;第5章为全球定位与地理信息系统;第6章为无线传感网络;第7章为互联网与移动互联网;第8章为物联网支撑技术;第9章为物联网应用接口技术;第10章为物联网安全;第11章为物联网综合设计。

在本书的写作中,得到了北京奥尔斯电子科技有限公司的大力支持,他们的物联网系统和平台充分满足了高校物联网课程的教学实验、综合实训、毕业设计的需求。在本书的写作中,得到了北京邮电大学网络技术研究院和作者所在单位陕西理工学院同仁们的支持,在此表示衷心的感谢。书中的错误和不足恳请读者不吝赐教。

编者

2014年2月23日

# 目 录

## 第一部分 物联网实验

<b>第 1 章 无线传感网络</b> .....	3
1.1 无线通信网络 .....	3
1.1.1 无线通信网络概述.....	3
1.1.2 IEEE 802.15.4 标准.....	6
1.2 无线传感网络概述.....	12
1.2.1 无线传感网络概念 .....	12
1.2.2 传感网络的发展历史 .....	15
1.2.3 无线传感网络的应用 .....	15
1.2.4 传感网络的关键技术 .....	18
1.2.5 传感网络结构 .....	18
1.3 传感网络的通信与组网技术.....	23
1.3.1 物理层 .....	23
1.3.2 MAC 协议 .....	25
1.3.3 路由协议 .....	29
<b>第 2 章 射频识别技术</b> .....	31
2.1 射频识别技术概述.....	31
2.1.1 概念与特点 .....	31
2.1.2 原理和分类 .....	32
2.1.3 关键技术 .....	35
2.2 射频识别技术发展和面临的问题.....	35
2.2.1 发展和应用 .....	35
2.2.2 面临的问题 .....	36
<b>第 3 章 无线传感网络实验平台概述</b> .....	37
3.1 无线传感网络通信模块.....	38
3.2 无线节点模块.....	38
3.2.1 输入输出信号描述 .....	38
3.2.2 内部各功能实现方法 .....	40

3.2.3	工作模式 .....	41
3.3	传感器及控制器模块 .....	41
3.3.1	公共接口信号介绍 .....	42
3.3.2	传感器及控制器模块 ID 设计 .....	43
3.3.3	电流传感器模块 .....	44
3.3.4	电压传感器模块 .....	45
3.3.5	温湿度及光电传感器模块 .....	45
3.3.6	电压输出模块 .....	46
3.3.7	RS232 模块 .....	47
3.3.8	继电器模块 .....	47
3.3.9	Cortex M3 模块(LM3S9B96) .....	48
3.4	电源板及智能主板 .....	49
3.5	嵌入式网关(Cortex A8DB 开发板) .....	51
<b>第 4 章</b>	<b>无线传感网络基础实验</b> .....	<b>53</b>
4.1	IAR EW8051 集成开发环境简介 .....	53
4.1.1	IAR 安装 .....	53
4.1.2	IAR 软件的使用 .....	54
4.1.3	SmartRF Flash Programmer 软件 .....	64
4.2	基础实验 .....	67
实验 1	GPIO 控制实验 .....	67
实验 2	LCD 控制实验 .....	71
实验 3	CC2530 外部中断实验 .....	76
实验 4	CC2530 时钟源选择实验 .....	80
实验 5	CC2530 功耗模式选择实验 .....	82
实验 6	CC2530 睡眠定时器使用实验 .....	86
实验 7	CC2530 串口通信实验 .....	88
实验 8	CC2530 ADC 实验 .....	91
实验 9	温湿度及光照采集实验 .....	96
实验 10	简单无线通信实验 .....	100
实验 11	CC2530 无线通信丢包率测试实验 .....	106
实验 12	信道信号强度测试实验 .....	108
实验 13	Z-Stack 点到点通信实验(无线串口) .....	111
实验 14	Z-Stack 点到点通信实验(最大吞吐量测试) .....	113
实验 15	Z-Stack 点到点通信实验(两终端数据包间隔互发) .....	116
<b>第 5 章</b>	<b>物联网中间件及综合演示系统</b> .....	<b>119</b>
5.1	实验预备知识 .....	119



881	5.1.1 物联网中间件(IOTService)介绍	119
261	5.1.2 IOTService 安装	121
100	5.1.3 物联网综合演示系统(WSNPlatform)	122
619	5.1.4 “串口-网口”转换器配置	123
411	5.2 实验项目	124
150	实验 16 Z-Stack 星状网通信实验	124
195	实验 17 Z-Stack Mesh 网通信实验	129
	实验 18 ZigBee Pro 通信实验	132
<b>第 6 章 C/S 架构下桌面应用程序实验</b>		<b>138</b>
	实验 19 建立通信实验	138
	实验 20 节点组网实验	140
	实验 21 实时数据采集实验	142
	实验 22 节点资源控制实验	143
<b>第 7 章 射频识别实验系统及实验项目</b>		<b>145</b>
	7.1 RFID 实验系统	145
	7.2 RFID 实验项目	148
	实验 23 获取当前软件版本信息	148
	实验 24 控制 PC 声音	151
	实验 25 控制射频场的打开与关闭	153
	实验 26 控制读写器是否进入低功耗模式	155
	实验 27 控制调整阵列天线	157
	实验 28 设置写操作时的时间间隔	159
	实验 29 探测是否有标签	161
	实验 30 选择调制类型	163
	7.3 RFID 应用方案实验	164
	7.3.1 基于 ZigBee ACTIVE RFID 精准物流系统	164
	7.3.2 基于高频 RFID 职工考勤管理系统	166
	7.3.3 图书馆管理系统	170

## 第二部分 习题与思考题及其参考答案

第 1 章	物联网基本概念	175
第 2 章	信息自动识别技术	178
第 3 章	射频识别与产品电子编码	181
第 4 章	传感器与微机电系统	183
第 5 章	全球定位与地理信息系统	185

111	第 6 章 无线传感网络	188
112	第 7 章 互联网与移动互联网	195
113	第 8 章 物联网支撑技术	201
114	第 9 章 物联网应用接口技术	209
115	第 10 章 物联网安全	216
116	第 11 章 物联网综合设计	221
117	参考文献	241
118	3.1.7 P51 引脚表	
119	3.1.8 接地原理表	
120	3.1.9 CS4398 驱动芯片	
121	3.1.10 电源板及智能主板	
122	3.2 嵌入式网关(Compu-ASP)开发	
123	第 4 章 无线传感网络基础实验	
124	4.1 154R EW2051 集成开发环境简介	
125	4.2 154R EW2051 集成开发环境安装	
126	4.3 154R EW2051 集成开发环境使用	
127	4.4 154R EW2051 集成开发环境进阶	
128	4.5 154R EW2051 集成开发环境进阶	
129	4.6 154R EW2051 集成开发环境进阶	
130	4.7 154R EW2051 集成开发环境进阶	
131	4.8 154R EW2051 集成开发环境进阶	
132	4.9 154R EW2051 集成开发环境进阶	
133	4.10 154R EW2051 集成开发环境进阶	
134	4.11 154R EW2051 集成开发环境进阶	
135	4.12 154R EW2051 集成开发环境进阶	
136	4.13 154R EW2051 集成开发环境进阶	
137	4.14 154R EW2051 集成开发环境进阶	
138	4.15 154R EW2051 集成开发环境进阶	
139	4.16 154R EW2051 集成开发环境进阶	
140	4.17 154R EW2051 集成开发环境进阶	
141	4.18 154R EW2051 集成开发环境进阶	
142	4.19 154R EW2051 集成开发环境进阶	
143	4.20 154R EW2051 集成开发环境进阶	
144	4.21 154R EW2051 集成开发环境进阶	
145	4.22 154R EW2051 集成开发环境进阶	
146	4.23 154R EW2051 集成开发环境进阶	
147	4.24 154R EW2051 集成开发环境进阶	
148	4.25 154R EW2051 集成开发环境进阶	
149	4.26 154R EW2051 集成开发环境进阶	
150	4.27 154R EW2051 集成开发环境进阶	
151	4.28 154R EW2051 集成开发环境进阶	
152	4.29 154R EW2051 集成开发环境进阶	
153	4.30 154R EW2051 集成开发环境进阶	
154	4.31 154R EW2051 集成开发环境进阶	
155	4.32 154R EW2051 集成开发环境进阶	
156	4.33 154R EW2051 集成开发环境进阶	
157	4.34 154R EW2051 集成开发环境进阶	
158	4.35 154R EW2051 集成开发环境进阶	
159	4.36 154R EW2051 集成开发环境进阶	
160	4.37 154R EW2051 集成开发环境进阶	
161	4.38 154R EW2051 集成开发环境进阶	
162	4.39 154R EW2051 集成开发环境进阶	
163	4.40 154R EW2051 集成开发环境进阶	
164	4.41 154R EW2051 集成开发环境进阶	
165	4.42 154R EW2051 集成开发环境进阶	
166	4.43 154R EW2051 集成开发环境进阶	
167	4.44 154R EW2051 集成开发环境进阶	
168	4.45 154R EW2051 集成开发环境进阶	
169	4.46 154R EW2051 集成开发环境进阶	
170	4.47 154R EW2051 集成开发环境进阶	
171	4.48 154R EW2051 集成开发环境进阶	
172	4.49 154R EW2051 集成开发环境进阶	
173	4.50 154R EW2051 集成开发环境进阶	
174	4.51 154R EW2051 集成开发环境进阶	
175	4.52 154R EW2051 集成开发环境进阶	
176	4.53 154R EW2051 集成开发环境进阶	
177	4.54 154R EW2051 集成开发环境进阶	
178	4.55 154R EW2051 集成开发环境进阶	
179	4.56 154R EW2051 集成开发环境进阶	
180	4.57 154R EW2051 集成开发环境进阶	
181	4.58 154R EW2051 集成开发环境进阶	
182	4.59 154R EW2051 集成开发环境进阶	
183	4.60 154R EW2051 集成开发环境进阶	
184	4.61 154R EW2051 集成开发环境进阶	
185	4.62 154R EW2051 集成开发环境进阶	
186	4.63 154R EW2051 集成开发环境进阶	
187	4.64 154R EW2051 集成开发环境进阶	
188	4.65 154R EW2051 集成开发环境进阶	
189	4.66 154R EW2051 集成开发环境进阶	
190	4.67 154R EW2051 集成开发环境进阶	
191	4.68 154R EW2051 集成开发环境进阶	
192	4.69 154R EW2051 集成开发环境进阶	
193	4.70 154R EW2051 集成开发环境进阶	
194	4.71 154R EW2051 集成开发环境进阶	
195	4.72 154R EW2051 集成开发环境进阶	
196	4.73 154R EW2051 集成开发环境进阶	
197	4.74 154R EW2051 集成开发环境进阶	
198	4.75 154R EW2051 集成开发环境进阶	
199	4.76 154R EW2051 集成开发环境进阶	
200	4.77 154R EW2051 集成开发环境进阶	
201	4.78 154R EW2051 集成开发环境进阶	
202	4.79 154R EW2051 集成开发环境进阶	
203	4.80 154R EW2051 集成开发环境进阶	
204	4.81 154R EW2051 集成开发环境进阶	
205	4.82 154R EW2051 集成开发环境进阶	
206	4.83 154R EW2051 集成开发环境进阶	
207	4.84 154R EW2051 集成开发环境进阶	
208	4.85 154R EW2051 集成开发环境进阶	
209	4.86 154R EW2051 集成开发环境进阶	
210	4.87 154R EW2051 集成开发环境进阶	
211	4.88 154R EW2051 集成开发环境进阶	
212	4.89 154R EW2051 集成开发环境进阶	
213	4.90 154R EW2051 集成开发环境进阶	
214	4.91 154R EW2051 集成开发环境进阶	
215	4.92 154R EW2051 集成开发环境进阶	
216	4.93 154R EW2051 集成开发环境进阶	
217	4.94 154R EW2051 集成开发环境进阶	
218	4.95 154R EW2051 集成开发环境进阶	
219	4.96 154R EW2051 集成开发环境进阶	
220	4.97 154R EW2051 集成开发环境进阶	
221	4.98 154R EW2051 集成开发环境进阶	
222	4.99 154R EW2051 集成开发环境进阶	
223	4.100 154R EW2051 集成开发环境进阶	

## 第一部分 物联网实验

公共信息、系统以及设备。物联网主要应用(4G)技术,主要通信设备包括基站、终端、网关、服务器、网络设备等。物联网主要应用(4G)技术,主要通信设备包括基站、终端、网关、服务器、网络设备等。

### (1) 无线通信网络

无线通信网络是指利用无线电波进行信息传输的网络。随着移动通信技术的不断发展,无线通信网络已经广泛应用于各个领域,包括移动通信、卫星通信、无线局域网等。

#### 1.1.1 无线通信网络概述

##### 1. 无线通信技术的发展历程

无线通信技术的发展历程可以分为以下几个阶段: 1. 有线通信: 早期的通信方式主要是有线通信,如电报、电话等。2. 无线通信: 随着无线电技术的发明,无线通信开始兴起。3. 移动通信: 移动通信技术的发展使得人们可以在移动状态下进行通信。4. 宽带通信: 随着互联网的普及,宽带通信成为主流。5. 物联网: 物联网的兴起使得万物互联成为可能。

1.1.2 无线通信网络的组成

无线通信网络的组成包括: 1. 终端设备: 如手机、笔记本电脑等。2. 基站: 用于接收和发送无线信号。3. 核心网: 负责路由和交换。4. 接入网: 连接终端设备和核心网。

1.1.3 无线通信网络的应用

无线通信网络的应用非常广泛,包括: 1. 移动通信: 手机、平板电脑等。2. 卫星通信: GPS、北斗导航等。3. 无线局域网: Wi-Fi、蓝牙等。4. 物联网: 智能家居、工业自动化等。

1.1.4 无线通信网络的挑战

无线通信网络面临的主要挑战包括: 1. 频谱资源紧张: 无线频谱资源有限,需求量大。2. 网络安全: 无线通信容易被窃听和攻击。3. 功耗问题: 终端设备功耗大,续航时间短。4. 覆盖范围: 无线信号覆盖范围有限。

1.1.5 无线通信网络的未来展望

无线通信网络的未来展望包括: 1. 5G技术: 5G技术将带来更高的速率和更低的延迟。2. 物联网: 物联网将实现万物互联,推动产业升级。3. 边缘计算: 边缘计算将降低网络延迟,提高用户体验。4. 人工智能: 人工智能将优化网络性能,提高服务质量。

1.1.6 无线通信网络的实验

无线通信网络的实验包括: 1. 无线信号传播特性实验: 研究无线信号在不同环境下的传播特性。2. 无线通信系统性能实验: 研究无线通信系统的性能指标,如吞吐量、延迟等。3. 无线网络安全实验: 研究无线通信网络的安全防护措施。4. 无线通信网络优化实验: 研究无线通信网络的优化方案,提高网络性能。



# 第 1 章

## 无线传感网络

目前,无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)的应用已经由军事领域扩展到反恐、防爆、环境监测、医疗保健、家居、商业、工业等其他众多领域,能完成传统系统无法完成的任务。集成传感器技术、微机电系统(MEMS)技术、无线通信技术和分布式信息处理技术的无线传感器网络是因特网从虚拟世界到物理世界的延伸。

### 1.1 无线通信网络

近几年来,无线通信技术的发展速度与应用领域已经超过了固定通信技术,呈现出如火如荼的发展态势。其中最具代表性的有蜂窝移动通信、宽带无线接入,也包括集群通信、卫星通信,以及手机视频业务与技术。

#### 1.1.1 无线通信网络概述

##### 1. 无线通信技术发展历程

目前,无线通信技术及其产业呈现出两个突出的特点:一是公众移动通信保持快速增长态势;二是宽带无线通信技术的研究和应用十分活跃,热点不断。随着国民经济和社会发展的信息化,信息化技术正在改变着我们的生活方式。无线通信也从固定方式发展为移动方式,移动通信发展至今大约经历了 5 个阶段。

(1) 20 世纪 20—50 年代初,主要用于舰船及军事,采用短波频及电子管技术,至该阶段末期才出现 150MHz VHF 单工汽车公用移动电话系统(MTS)。

(2) 20 世纪 50—60 年代,此时频段扩展至 UHF450MHz,器件技术已向半导体过渡,大都为移动环境中的专用系统,并解决了移动电话与公用电话网的接续问题。

(3) 20 世纪 70 年代初—80 年代初,频段扩展至 800MHz,美国 Bell 实验室提出了蜂窝系统概念并于 70 年代末进行了 AMPS 试验。

(4) 20 世纪 80 年代初—90 年代中期,为第二代数字移动通信兴起与大发展阶段,并逐步向个人通信业务方向迈进。此时出现了 D-AMPS、TACS、ETACS、GSM/DCS、cdmaOne、PDC、PHS、DECT、PACS、PCS 等各类系统与业务运行。

(5) 20 世纪 90 年代中期至今,随着数据通信与多媒体业务需求的发展,适应移动数据、移动计算及移动多媒体运作需要的第三代移动通信开始兴起,其全球标准化及相应融合工作与样机研制和现场试验工作在快速推进,第二代移动通信正在向第三代平滑过渡。

## 2. 无线通信技术发展趋势

无线通信技术发展趋势如下。

(1) 网络覆盖的无缝化,即用户在任何时间、任何地点都能实现网络的接入。

(2) 宽带化是未来通信发展的一个必然趋势,窄带的、低速的网络会逐渐被宽带网络所取代。

(3) 融合趋势明显加快,包括技术融合、网络融合和业务融合。移动与无线技术在演进中走向融合,各种创新移动、无线技术不断涌现并快速步入商用,移动、无线应用市场异常活跃,移动、无线技术自身也在快速演进中不断革新。在网络融合的大趋势下,3G、WiMAX、WLAN 等各种移动、无线技术在演进中相互融合。涌现出了同时被上述无线技术采用的新型射频技术,如 MIMO 和 OFDM 技术等。

(4) 数据速率越来越高,频谱带宽越来越宽,频段越来越高,覆盖距离越来越短。

(5) 终端智能化越来越高,为各种新业务的提供创造了条件和实现手段。

(6) 从两个方向相向发展,即移动网增加数据业务,而固定数据业务则增加移动性。1xEV-DO、HSDPA 等技术的出现使移动网的数据速率逐渐增加,在原来的移动网上叠加,覆盖可以连续。另外,WiMAX 的出现加速了新的 3G 增强型技术的发展。WLAN 等技术的出现使数据速率提高,固网的覆盖范围逐渐扩大,移动性逐渐增加,移动通信、宽带业务和 WiFi 的成功,促成 802.16/WiMAX 等多种宽带无线接入技术的诞生。

(7) 通信信息网络将向下一代网络 NGN 融合。在未来 NGN 概念中,固定网络将形成一个高带宽、IP 化、具有强 QoS 保证的信息通信网络平台。在这一平台上,各种接入手段将成为网络的触手,向各个应用领域延伸。而 3G、宽带固定无线接入、各种无线局域网或城域网方案,都将成为大 NGN 平台的延伸部分。

(8) 无线通信领域各种技术的互补性日趋鲜明。这主要表现在不同的接入技术具有不同的覆盖范围、不同的适用区域、不同的技术特点和不同的接入速率。

## 3. 无线通信网络

有线与无线通信系统的结合构成了现代通信网。无线通信网的快速发展,特别是移动通信网、移动互联网的发展及融合,正加速改变着我们的工作和生活方式。

### 1) 现代无线通信网络的概念

无线通信网是由一系列无线通信设备、信道和标准组成的有机整体,我们因此可以在任何地点进行交流。基于 802.15.4 标准的无线通信网的组织结构见图 1.1。

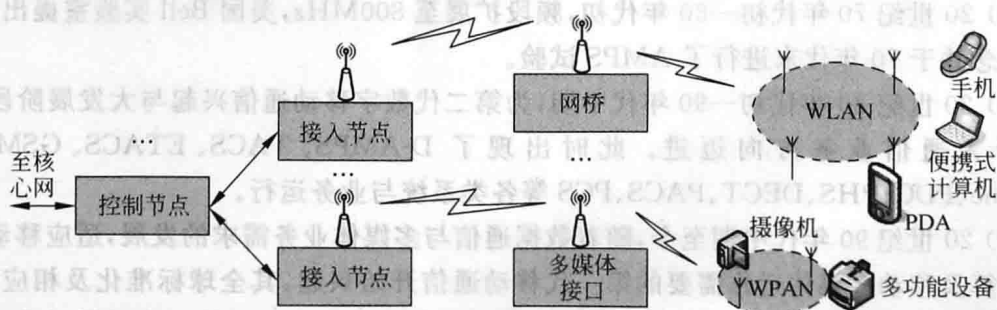


图 1.1 无线通信网的组织结构示意

## 2) 无线通信网络模型

无线通信网络模型有如下几种。

(1) 移动自组织网络。Ad Hoc 网络是一种自组织网络,分为固定节点和移动节点两种。移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Network,MANET)特指节点具有移动性的 Ad Hoc 网络。近年来,随着移动设备的小型化,MANET 已经开始参与个人通信网络的建立,并成为超 3G 网络的重要网络接入形式。利用 MANET 进行组网具有灵活、便捷和迅速的特点,相较于现有的一些有中心结构网络来说,MANET 具有更低的建设成本和更大的普及空间。

(2) 蜂窝网络。目前,主流通信服务提供商绝大部分采用蜂窝网络。它被广泛采用的原因是源于一个数学猜想——正六边形被认为是使用最少个节点可以覆盖最大面积的图形,出于节约设备构建成本的考虑,正六边形是最好的选择。这样形成的网络覆盖在一起,形状非常像蜂窝,因此被称做蜂窝网络。常见的蜂窝网络类型有 GSM 网络、CDMA 网络、3G 网络、FDMA 网络、TDMA 网络、PDC 网络、TACS 网络、AMPS 网络等。

(3) 短距离无线通信网。短距离无线(Short Range Wireless,SRW)通信泛指在较小的区域内(数百米)提供无线通信的技术,目前常见的技术大致有 802.11 系列无线局域网、蓝牙、HomeRF 和红外传输技术。一般情况下,SRW 可以在 100m 以内实现传输速度为 10~100Mb/s 的低功率近距离通信。

## 3) 无线通信网的分类

无线宽带通信技术按覆盖范围分类如图 1.2 所示。它包括了 4 大类标准:IEEE 802.15 (WPAN)、IEEE 802.11x (WLAN)、IEEE 802.16x (WMAN)、IEEE 802.20 (Mobile Broadband Wireless Access,MBWA)。蜂窝移动通信属于 WWAN,IEEE 802 标准系列涵盖了 WPAN、WLAN、WMAN 和 WWAN 几个方面。

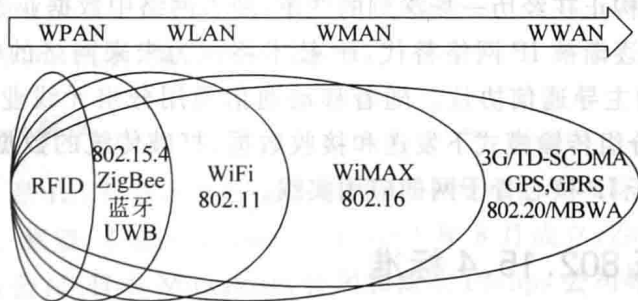


图 1.2 无线通信网络覆盖范围示意

MBWA 即移动宽带无线接入系统,其目的是提高给予 IP 的数据传输速率,为无线城域网中移动速度较快的移动用户提供服务。不同于 802.16 系列规范,802.20 系统规范是完全基于移动通信的,而不是从固定无线接入系统修改来适应移动通信系统。系统运行在 3.5GHz 以下授权频段,在时速 250km 的情况下,可实现下行 1Mb/s 的移动通信能力,可以应用在铁路、地铁以及高速公路、卫星通信等高速移动的环境中。目前,IEEE 802.20 技术还在制定之中。

#### 4. 无线通信网络发展趋势

无线通信网络技术有以下几个发展趋势。

(1) 网络覆盖无缝化。网络覆盖的无缝化,将使用户在任何时间、任何地点都能实现网络接入;而且数据速率越来越高,频谱带宽越来越宽,频段越来越高。

(2) 移动宽带化。蜂窝移动通信系统的发展体现了无线通信发展史:从第一代模拟移动通信系统,到第二代数字移动通信系统,再到第三代以及基于全 IP 的后三代或四代移动通信系统。移动宽带化是未来通信发展的一个必然趋势,窄带的、低速的网络会逐渐被宽带网络所取代。

(3) 核心网络综合化。未来信息网络的结构模式将向核心网/接入网转变,网络的多样化、宽带化和移动化,将使在同一核心网络上综合传送多种业务信息成为可能。网络的综合化将进一步推动传统电信网、广播电视网与计算机互联网的三网融合,技术融合、网络融合、业务融合的趋势明显加快。

(4) 信息个人化。信息个人化是 21 世纪初信息领域进一步发展的主要方向之一,而移动 IP 正是实现未来信息个人化的重要技术手段。

(5) 终端智能化越来越高,为各种新业务的提供创造了条件和实现手段。在手机等智能终端上实现各种 IP 应用以及移动 IP 技术正逐步成为人们关注的焦点之一。

(6) 固定网和移动网业务相向发展。移动网增加数据业务:1xEV-DO、HSDPA 等技术的出现使移动网的数据速率逐渐增加,在原来的移动网上叠加,覆盖可以连续。

(7) 2.5G、3G 向 B3G 过渡和发展。B3G(Beyond Third Generation in mobile communication system)即超三代移动通信系统。相对于 3G 移动通信,B3G 有着更高的传输效率和更全的业务类型。B3G 的概念兼顾了移动性和数据速率。虽然与 3G 移动通信技术相比,B3G 移动通信技术更为复杂,但 B3G 移动通信技术较 3G 移动通信技术有数据传输速率、适应性和灵活性、标准兼容性、业务的多样性、较好的技术基础、便于过渡和演进等优势。

移动通信网络结构正在经历一场深刻的变革,随着网络中数据业务量主导地位的形成,现有电路交换网络已逐渐被 IP 网络替代,IP 技术将成为未来网络的核心关键技术,TCP/IP 将成为信息网络的主导通信协议。随着移动通信通用分组无线业务(GPRS)的普及应用,用户将在端到端分组传输模式下发送和接收数据,打破传统的数据接入方式。以 IP 为基础组网,开始了基于 IP 核心骨干网的应用实践。

#### 1.1.2 IEEE 802.15.4 标准

IEEE 802.15.4 描述了低速率无线个人局域网的物理层和媒体接入控制协议。它属于 IEEE 802.15 工作组。IEEE 802.15.4 是 ZigBee、WirelessHART 和 MiWi 规范的基础。

1998 年,IEEE 802.15 工作组成立,专门从事 WPAN 标准化工作。它的任务是开发一套适用于短程无线通信的标准,通常我们称为无线个人局域网(WPAN)。1999 年成立了 IEEE 802.15 WG,致力于 WPAN 网络的物理层(PHY)和介质访问控制层(MAC)的标准化工作,目标是为在个人操作空间内相互通信的无线通信设备提供通信标准。用于无线局域网的通信技术很多,如 ZigBee、蓝牙、UWB、红外(IrDA)、HomeRF、射频识别等。目前,为满足低功耗、低成本的传感网要求而专门开发的低速率 WPAN 标准 IEEE 802.15.4 成



为物联网的重要通信网络技术之一。

在 IEEE 802.15 工作组内有四个任务组(Task Group, TG), 分别制定适合不同应用的标准。这些标准在传输速率、功耗和支持的服务等方面存在差异。下面是四个任务组各自的主要任务。

(1) 任务组 TG1: 制定 IEEE 802.15.1 标准, 又称蓝牙无线个人区域网络标准。这是一个中等速率、近距离的 WPAN 网络标准, 通常用于手机、PDA 等设备的短距离通信。

(2) 任务组 TG2: 制定 IEEE 802.15.2 标准, 研究 IEEE 802.15.1 与 IEEE 802.11(无线局域网标准, WLAN) 的共存问题。

(3) 任务组 TG3: 制定 IEEE 802.15.3 标准, 研究高传输速率无线个人区域网络标准。该标准主要考虑无线个人区域网络在多媒体方面的应用, 追求更高的传输速率与服务品质。

(4) 任务组 TG4: 制定 IEEE 802.15.4 标准, 针对低速无线个人区域网络(Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN) 制定标准。该标准把低能量消耗、低速率传输、低成本作为重点目标, 旨在为个人或者家庭范围内不同设备之间的低速互连提供统一标准。

需要特别注意的是, 任务组 TG4 定义的 LR-WPAN 的特征与传感器网络有很多相似之处, 很多研究机构把它作为传感器的通信标准。LR-WPAN 是一种结构简单、成本低廉的无线通信网络, 它使得在低电能和低吞吐量的应用环境中使用无线连接成为可能。与 WLAN 相比, LR-WPAN 只需很少的基础设施, 甚至不需要基础设施。IEEE 802.15.4 标准为 LR-WPAN 制定了物理层和 MAC 子层协议。IEEE 802.15.4 标准定义的 LR-WPAN 具有如下特点:

- (1) 在不同的载波频率下实现了 20kb/s、40kb/s 和 250kb/s 三种不同的传输速率。
- (2) 支持星形和点对点两种网络拓扑结构。
- (3) 有 16 位和 64 位两种地址格式, 其中 64 位地址是全球唯一的扩展地址。
- (4) 支持冲突避免的载波多路侦听技术(Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance, CSMA-CA)。
- (5) 支持确认(ACK)机制, 保证传输可靠性。

### 1. IEEE 802.15.4 标准

IEEE 802.15.4 是 IEEE 标准委员会任务组 TG4 发布的一项标准。该任务组于 2000 年 12 月成立, ZigBee 联盟(ZigBee Alliance)于 2001 年 8 月成立, 2002 年由英国 Invensys 公司、美国 Motorola 公司、日本 Mitsubishi 公司和荷兰 Philips 公司等厂商联合推出了低成本、低功耗的 ZigBee 技术。ZigBee 是一种新兴的近距离、低速率、低功耗的双向无线通信技术, 也是 ZigBee 联盟所主导的传感网技术标准。

#### 1) IEEE 802.15.4 标准协议结构

IEEE 802.15.4 满足国际标准组织(ISO)开放系统互连(OSI)参考模式。它包括物理层、介质访问层、网络层和高层。IEEE 802.15.4 标准协议结构见图 1.3。

#### 2) 物理层的主要功能

IEEE 802.15.4 标准所定义的物理层具有的功能有: 激活和惰性化无线电收发器, 当前信道的能量发现、接收包的链路质量指示、信道频率选择和数据的发送与接收。