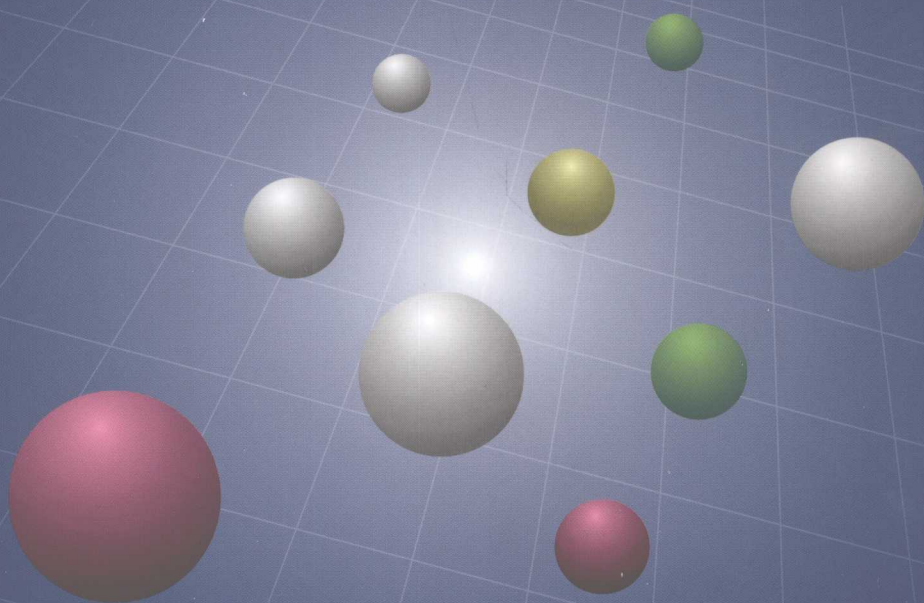


ZigBee 技术及应用

瞿 雷 刘盛德 胡咸斌 编著



北京航空航天大学出版社

ZigBee 技术及应用

15/pub/TC4.html

15/pub/TC4.html

瞿 雷 刘盛德 胡咸斌 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

围绕 ZigBee 技术的理论和应用作较全面的介绍。在简要介绍无线组网通信技术的基础上,第 2 章详细介绍了 ZigBee 协议栈的基础——IEEE 802.15.4 无线个域网协议;第 3 章对 ZigBee 协议规范 1.0 版本进行了阐述。从第 4 章开始,分别介绍基于单片 RF 收发器和 SoC 方式的一些典型 ZigBee 技术实现平台,主要产品有 Freescale 公司的 MC13192/MC13193,Chipcon 公司(已被 TI 公司收购)的 CC2420、CC2430 和 Ember 公司的 EM250,对其芯片的特性、功能和应用等进行了描述。第 8 章介绍 MC13192 的一个应用实例;第 9 章是 CC2420 ZigBee DK 开发套件的介绍。

本书可作为工程技术人员使用 ZigBee 技术进行开发的指南,也可作为大学高年级学生或研究生学习 ZigBee 技术及在单片机与嵌入式系统教学、实验 and 开发中的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

ZigBee 技术及应用/瞿雷,刘盛德,胡咸斌编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-81124-218-8

I. Z… II. ①瞿…②刘…③胡… III. 无线电通信—通信网 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 107064 号

© 2007,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。侵权必究。

ZigBee 技术及应用

瞿 雷 刘盛德 胡咸斌 编著

责任编辑 史 东 芦潇静

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:38 字数:973 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-218-8 定价:62.00 元

前言

多年来,无线通信业一直致力于高速宽带无线通信技术的研究和开发,高速无线通信技术和产品层出不穷,且速率越来越高,距离越来越远;市场的导向使人们对高速无线通信技术更加“偏爱”,而低速无线通信领域却受到了一些冷遇。然而,无线通信应用是多领域、广范围的,在很多应用场合,如工业控制、无线监测、无线传感器网络、家居无线监控等,并不需要太高的通信速率,而是在成本、功耗、体积、可靠性等方面有着更苛刻的要求。随着泛在网络设想和普适计算理念的提出,无所不在的无线通信需求变得越来越迫切,低速、近距离的无线通信技术和产品同样有着广阔的市场前景。近年来,很多公司和组织投入到这一领域,新的技术和产品层出不穷。正是在这样一个无线通信技术快速发展的时代,ZigBee 技术应运而生。

2000 年 12 月,IEEE 成立了 802.15.4 工作组,负责低速无线个域网(LR-WPAN)的物理层和 MAC 层协议的研究和制定;2003 年,工作组正式发布了低功耗、低速率的无线网络通信协议 IEEE 802.15.4。2002 年 8 月,由英国 Invensys 公司、日本三菱电气公司、美国 Motorola 公司和荷兰 Philips 公司共同发起成立了 ZigBee 联盟,致力于以 IEEE 802.15.4 MAC 和物理层协议为基础,进行 ZigBee 技术的网络层和高层应用规范的制定、设备测试和市场推广工作,实现各家产品的相互兼容,以期与其他类似无线通信产品相抗衡并迅速拓展在这一领域的市场。ZigBee 联盟的成立,为 ZigBee 的发展奠定了坚实的基础,创造了良好的条件。这种以标准化的开放技术架构为基础的产品,正迎合了市场的需要,符合当今全球技术发展的潮流。如今,ZigBee 联盟已经吸引了全世界上百家芯片制造

商、无线设备商和开发商的加盟;符合 ZigBee 规范的新产品在不断推出,这一领域正迸发出勃勃生机。

什么是 ZigBee? 有人会说,ZigBee 就是一种近程的无线个域网技术;也有人说,它是无线传感器网络技术。我们认为,这些说法已是片面之词。虽说无线传感器网络是 ZigBee 技术一个潜在的、巨大的应用方向,ZigBee 技术的基础也架构在 IEEE 802.15.4 无线个域网协议之上;但由于市场的推动和技术的拓展,ZigBee 的应用范围远不止于此。无线 Mesh 技术与 ZigBee 技术的结合,构造了结构灵活、易于扩展的自组织网络拓扑,使得 ZigBee 的应用完全打破了个域网的应用范畴,延伸到了更广阔的应用空间。

出于对 ZigBee 技术的共同兴趣,我们合作编写了此书。瞿雷负责第 1 章和第 7~9 章的编写工作;胡咸斌负责第 2 章和第 3 章的编写工作;刘盛德负责第 4~6 章的编写工作。全书由瞿雷和刘盛德策划,最后由瞿雷统稿。本书相关章节以主要参考资料和芯片生产厂家的数据手册为基础,进行了全面的融会贯通和重新构思,也从中汲取了许多有益的内容。另外,孙玉才和益晓新教授、潘焱副教授也对此书的编写提出了许多有益的见解。在此对所有帮助过我们的人表示衷心的感谢。

由于水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和错误之处,敬请读者不吝赐教。如果本书能够缩短读者对 ZigBee 技术的了解和入门的时间,能够对研发 ZigBee 设备的读者提供一些参考,能够对推动我国 ZigBee 技术的发展有一点点帮助,都将是对我们最大的肯定和鼓励。

作者

2007 年 3 月于南京



第 1 章 ZigBee 技术概述

1.1 引言	1
1.2 无线组网通信	2
1.3 几种近距离无线通信技术	3
1.4 ZigBee 是什么	5
1.5 ZigBee 能干什么	6
1.6 ZigBee 的主要特性	7
1.7 ZigBee 产品示例	9
1.8 ZigBee 基础	10
1.8.1 低速无线个域网 LR-WPAN 的特点	10
1.8.2 ZigBee 中的设备	11
1.8.3 ZigBee 网络拓扑	11
1.8.4 ZigBee 协议架构	13
1.8.5 服务原语	14

第 2 章 IEEE 802.15.4 标准

2.1 物理层规范	15
2.1.1 物理层概述	15
2.1.2 物理层服务规范	15
2.1.3 物理层数据格式	19
2.1.4 物理层的常量和属性	19
2.1.5 2.4 GHz 频段的物理层技术	20
2.1.6 868/915 MHz 频段的物理层技术	21
2.1.7 通用射频规范	22
2.2 MAC 层规范	22
2.2.1 MAC 层服务规范	23
2.2.2 MAC 层帧格式	46
2.2.3 MAC 层命令帧	52
2.2.5 MAC 层功能描述	56
2.2.6 MAC 层安全规范	78
2.3.7 MAC-PHY 信息交互流程	87

第 3 章 ZigBee 规范

3.1 应用层规范	95
3.1.1 应用层规范概述	95

3.1.2	ZigBee 应用支持子层(APS)	99
3.1.3	ZigBee 应用框架	111
3.1.4	ZigBee 设备配置文件	121
3.1.5	ZigBee 设备对象(ZDO)	142
3.2	网络层规范	151
3.2.1	网络层规范概述	151
3.2.2	网络层服务规范	152
3.2.3	网络层帧格式	166
3.2.4	网络层命令帧	167
3.2.5	网络层功能详述	169
3.3	安全服务规范	197
3.3.1	安全服务规范概述	197
3.3.2	MAC 层安全服务	201
3.3.3	NWK 层安全服务	203
3.3.4	APS 层安全服务	205
3.3.5	安全处理公共基础	215
3.3.6	安全服务功能详述	216
第 4 章 MC13192/MC13193 RF 收发器		
4.1	概 述	227
4.1.1	主要特性	227
4.1.2	软件支持	228
4.1.3	模块框图及引脚配置	228
4.1.4	数据传送模式和包结构	231
4.1.5	接收和发送路径	231
4.2	系统层 MOMEM 操作系统	232
4.2.1	电源连接	232
4.2.2	测试引脚 SM 与复位使用方法	233
4.2.3	与 MCU 之间的接口	233
4.2.5	GPIO 特性	235
4.2.6	MC13192/MC13193 数字信号特性汇总	236
4.2.7	收发器 RF 接口操作和外部连接	236
4.2.8	低功耗问题	237
4.3	SPI 寄存器	242
4.3.1	概 述	242
4.3.2	强制寄存器初始化	242
4.3.3	寄存器模型	242
4.3.4	寄存器详细介绍	245
4.4	串行外部设备接口(SPI)	269
4.4.1	概 述	269
4.4.2	SPI 基本操作	270

4.4.3	SPI 单个处理	272
4.4.4	符号/数据格式	273
4.4.5	SPI 递归处理	273
4.4.6	程序复位(写寄存器地址 0x00)	277
4.5	操作模式	277
4.5.1	概 述	277
4.5.2	低功耗模式	279
4.5.3	主动模式	281
4.5.4	运行频率	291
4.5.5	发送功率调整	291
4.5.6	2.4 GHz 锁相环(PLL)解锁中断	292
4.6	计数器信息	292
4.6.1	事件计数器模块	292
4.6.2	事件计数器时基	293
4.6.3	设置当前计数值	294
4.6.4	读当前计数值	294
4.6.5	锁存时间标记	294
4.6.6	事件计数器比较器	295
4.6.7	预期的事件计数器用法	296
4.7	中 断	298
4.7.1	中断源与输出引脚 $\overline{\text{IRQ}}$	298
4.7.2	状态位 pll_lock_irq 及其操作	300
4.7.3	状态位 attn_irq 及其中断操作	301
4.7.4	退出低功耗模式的中断	301
4.8	各种功能	301
4.8.1	复位功能	301
4.8.2	通用 I/O	302
4.8.3	晶体振荡器	303
4.8.4	时钟输出引脚 CLK0	305
4.8.5	输入引脚 $\overline{\text{ATTN}}$	305
4.9	应 用	306
4.9.1	晶体振荡器基准频率	306
4.9.2	典型电路	306
4.9.3	晶振规格	308
4.10	电气特性	309
4.10.1	极限参数	309
4.10.2	推荐条件	309
4.10.3	直流电气特性	310
4.10.4	交流电气特性	310
第 5 章 CC2420 RF 收发器		
5.1	概 述	312

5.2	主要特性	312
5.3	引脚配置	313
5.4	电路描述	316
5.5	IEEE 802.15.4 调制方式	317
5.6	配置简述	319
5.7	评估软件	319
5.8	4 线串行配置和数据接口	319
5.8.1	引脚配置	319
5.8.2	寄存器存取	319
5.8.3	状态字节	321
5.8.4	选通命令	321
5.8.5	RAM 存取	321
5.8.6	FIFO 存取	323
5.8.7	SPI 的多个存取	323
5.9	微控制器接口和引脚描述	324
5.9.1	配置接口	324
5.9.2	接收模式	324
5.9.3	RXFIFO 溢出	326
5.9.4	发送模式	326
5.9.5	总控和引脚状态	327
5.10	解调器、符号同步和数据判定	327
5.11	帧格式	328
5.11.1	同步头	328
5.11.2	帧长度域	329
5.11.3	MAC 协议数据单元	329
5.11.4	帧校验序列	330
5.12	RF 数据缓冲	330
5.13	地址识别	332
5.14	应答帧	333
5.15	无线通信控制状态机	334
5.16	MAC 安全操作	334
5.16.1	密 钥	334
5.16.2	当前时间/计数器	336
5.16.3	单独加密	336
5.16.4	内嵌式安全操作	336
5.16.5	CTR	337
5.16.6	CBC-MAC	337
5.16.7	CCM	338
5.16.8	时 序	338
5.17	线性中频和自动增益控制	338

5.18	RSSI/能量检测	338
5.19	链路质量指示	339
5.20	空闲信道评估	339
5.21	频率和信道编程设置	340
5.22	电压控制振荡器和锁相环自校准	340
5.23	输出功率编程设置	341
5.24	晶体振荡器	341
5.25	输入/输出匹配	342
5.26	发送测试模式	342
5.26.1	未调制的载波	342
5.26.2	已调制的频谱	342
5.27	系统考虑和指导方针	344
5.28	印刷电路板设计建议	346
5.29	天线的考虑	346
5.30	配置寄存器	347
5.31	测试输出信号	363
5.32	应用电路	366
5.33	极限参数	369
5.34	运行条件	369
5.35	电气规范	370
第 6 章 CC2430 片上系统		
6.1	概述	374
6.2	主要特性	375
6.3	引脚和 I/O 口配置	375
6.4	8051 CPU	378
6.4.1	简介	378
6.4.2	复位	378
6.4.3	存储器	378
6.4.4	特殊功能寄存器	383
6.4.5	CPU 寄存器和指令集	387
6.4.6	中断	387
6.4.7	振荡器和时钟	391
6.5	外部设备	391
6.5.1	I/O 口	391
6.5.2	DMA 控制器	399
6.5.3	MAC 计数器	407
6.5.4	AES(高级加密标准)协处理器	412
6.5.5	USART	416
6.6	无线模块	423
6.6.1	IEEE 802.15.4 调制方式	424

6.6.2	选通命令	425
6.6.3	RF 寄存器	425
6.6.4	中 断	426
6.6.5	FIFO 存取	427
6.6.6	DMA	428
6.6.7	接收模式	428
6.6.8	FIFO 溢出	429
6.6.9	发送模式	429
6.6.10	总控和状态	430
6.6.11	解调器、符号同步器和数据判定	430
6.6.12	帧格式	430
6.6.13	同步头	431
6.6.14	帧长度域	432
6.6.15	MAC 协议数据单元	432
6.6.16	帧校验序列	432
6.6.17	RF 数据缓冲器	433
6.6.18	地址识别	434
6.6.19	应答帧	434
6.6.20	无线控制状态机	435
6.6.21	MAC 安全操作	437
6.6.22	线性中频和自动增益控制设置	437
6.6.23	接收信号强度指示器/能量检测	437
6.6.24	链路质量指示	437
6.6.25	空闲信道评估	438
6.6.26	频率和信道编程设置	438
6.6.27	电压控制振荡器和锁相环自校准	439
6.6.28	输出功率编程设置	439
6.6.29	输入/输出匹配	439
6.6.30	发送测试模式	440
6.6.31	印刷电路板设计建议	441
6.6.32	天线的考虑	442
6.6.33	CSMA - CA/选通处理器	442
6.6.34	无线寄存器	450
6.6.35	无线测试输出信号	463
6.7	系统考虑和指导方针	464
6.8	应用电路	464
6.9	极限参数	466
6.10	运行条件	466
6.11	电气规范	467
6.11.1	特性概述	468

6.11.2	RF 接收	469
6.11.3	RF 发送	470
6.11.4	32 MHz 晶体振荡器	470
6.11.5	32.768 kHz 晶体振荡器	470
6.11.6	低能耗 RC 振荡器	471
6.11.7	高速 RC 振荡器	471
6.11.8	频率合成器	471
6.11.9	模拟温度传感器	472
6.11.10	8~14 位 ADC	472
6.11.11	控制输入交流特性	473
6.11.12	SPI 交流特性	473
6.11.13	调试接口交流特性	474
6.11.14	口输出交流特性	474
6.11.15	计数器输入交流特性	475
6.11.16	直流特性	475
第 7 章 EM250 片上系统		
7.1	概 述	476
7.2	主要特性	477
7.3	引脚配置与说明	478
7.4	顶层功能	482
7.5	系统模式功能	483
7.5.1	接收(RX)信道	483
7.5.2	发送(TX)信道	484
7.5.3	集成的 MAC 模块	484
7.5.4	包跟踪接口	485
7.5.5	微控制器 XAP2b	485
7.5.6	嵌入的存储器	485
7.5.7	加密加速器	487
7.5.8	复位检测	487
7.5.9	上电复位	487
7.5.10	时钟源	488
7.5.11	随机数发生器	489
7.5.12	看门狗计时器	489
7.5.13	睡眠计时器	490
7.5.14	电源管理	490
7.6	应用模式功能描述	490
7.6.1	GPIO	491
7.6.2	串行控制器 SC1	500
7.6.3	串行控制器 SC2	519
7.6.4	通用计数器	535

7.6.5	ADC 模块	550
7.6.6	事件管理器	552
7.6.7	集成稳压器	555
7.7	SIF 模块编程设置和调试接口	556
7.8	典型应用	556
7.9	寄存器地址表	557
7.10	电气特性	561
7.10.1	极限参数	561
7.10.2	工作条件	561
7.10.3	环境特性	561
7.10.4	直流特性	562
7.10.5	交流特性	563
第 8 章 ZigBee 光感应节点开发实例		
8.1	引言	565
8.2	光传感节点的功能	566
8.3	TinyOS 操作系统和 nesC 语言	570
8.4	光传感节点的实现	571
8.4.1	评估板硬件简介	571
8.4.2	ZigBee 协议栈总体结构	571
8.4.3	协议层的实现	573
8.4.4	LSM 应用实现	573
第 9 章 CC2420 开发套件 2.4 GHz ZigBee Development Kit		
9.1	简述	575
9.2	开发套件组成	575
9.3	开发套件的主要特性与接口	578
9.4	使用 CC2400EB 和 CC2320EM 的 ZigBee 包探测软件	582
9.5	使用带有 Z-Stack 的 CC2420DB 演示板	584
9.6	CC2420DB ZigBee 应用开发环境	586
9.7	JTAG ICE	587
9.8	在系统编程	588
9.9	故障排查	589
附录 缩略语		590
参考文献		595

第 1 章 ZigBee 技术概述

1.1 引言

20 世纪六七十年代,计算资源(或称为“计算机”)都放在计算中心,那时计算机的体积庞大,只有很少一些专业人员和科学家使用;而刚出现的网络雏形,少得可怜的协议支持简单的数据交换和共享。到了 80 年代,个人电脑技术取得了巨大的革命性的突破,导致计算资源的迅速普及,不仅体积功耗更小,而且计算能力呈几何级数递增;计算机借助网络通信,实现资源共享、信息互通的能力也得到快速发展。从 90 年代开始,随着无线电话,尤其是蜂窝移动通信技术的诞生和普及,无线数据通信技术也经历了从萌芽到蓬勃发展的过程;而随着半导体芯片技术的飞速发展,微处理器或者说单片机一类的微控制器,嵌入到各种电子设备之中,使得控制无所不在。于是,科学家和技术的创新者们就在思考这样一个问题,在日益增加的计算密度下,能否通过既经济又便捷的无线方式,把相关联的控制或者说计算连接起来,达到信息的汇集、交换目的,以形成新的应用和拓展服务。

在 1999 年,IBM 创造性地提出了“普适计算(Ubiquitous Computing)”的概念,让人们第一次畅想网络无处不在的前景;在人和环境融为一体的模式下,能够在任何时间、任何地点,以任何方式进行信息的获取与处理。而今,随着计算机技术、通信技术、网络技术和相关电子技术的进步,让这一预想已有机会得以实现。尤其近几年来,随着各种无线组网通信技术的迅速发展,在办公室、在家庭居室、在工业现场、在城市街道,甚至在一望无际的田野和广袤的山川,到处都有无线通信的身影。下面描绘一下现在和不久的将来,可能出现的几种场景。

(1) 在家庭居室

各种无线网络技术发挥着作用。家中的多媒体娱乐中心,通过蓝牙适配器将主设备输出的 HiFi 音频由 DSP 压缩成 MP3 格式,再发射出去,用户可以在家庭音箱设置接收端或用无线耳机收听音乐;通过 UWB 超宽带技术将机顶盒、DVD、超清晰电视、音响连接起来,为用户提供一种“随时、随地,使用任一设备访问和欣赏任何内容”的全新体验。通过家庭无线网关,可以在书房、在卧室随意通过无线方式上网。在窗户和门上安置的传感器以无线方式随时向安防控制计算机报告“警报”/“正常”信息:当出差在外时,可以通过因特网远程访问家中的安防控制计算机获知情况(而在几年前,只有像博物馆这些地方才可能享有这种安全级别);如果是在家中,传感器能够监控每间房子里的温/湿度和光线亮度情况,然后把数据发送给中央控制器,控制器根据光亮度及房间里是否有人,决定是否放下遮光窗帘,是否打开和调节灯光亮度,同时控制空调系统,既节能又快速地把房间维持在一个合适的温湿度和光亮度环境,而这一切都是自动完成的。

(2) 在办公室

在办公室,不仅桌上的电脑显示屏、键盘、鼠标与主机之间不再有乱七八糟的连接线,而且与同事间的电脑、打印机、复印机、传真机、投影仪的连接线都已不见了,各种设备只需要一个无线的 HUB 就完成了所有的网络连接,十分方便。如果课题小组需要到会议室进行讨论,所

有小组成员只需带着自己的移动终端前来,讨论文件也不必一一打印,甚至也不再需要投影仪;只是借助电脑上的可重新配置上/下文敏感中间件和无线网卡,就可自动感知、动态组成一个临时网络,主持人通过自己的移动终端设备向每个参会者发送文件,并以电子白板动态显示讨论文件的内容。

(3) 在车间

由于传统有线网络本身的局限性,许多特殊环境下的网络覆盖和网络支持是个难题。比如在某些工业现场,一些工业环境禁止或限制使用电缆,而在其他一些特殊场合又要求把电缆完全屏蔽起来,以有效防止来自其他工业设施或控制设备的干扰;更有一些高速旋转的设备根本无法通过电缆来传输数据信息。此时,无线通信网技术却能有效地提供对这些问题的解决方案。通过无线传感器网络,机器对机器之间进行通信,报告它们的状况,监控生产环境,协调设备间动作,实现流水线运转,彼此之间无需人工干预,在进行预编程决策后由设备自动完成。

(4) 在城市街道

当你在街头漫步时,一幅商品广告看得让你心动,这时你只需拿出手机,对准广告的 RFID 标签,通过无线读取即刻在手机上显示出商品的功能、性能、价格和订购办法等详细信息,一目了然。假如愿意,马上输入自己的银行账户和密码,几次按键之后,便可轻松完成网上订购过程;回家之后,新款商品已经运到家门口。

(5) 面对突发事故

无所不在的网络提供了任何时间、任何地点的信息访问服务,一辆配备无线定位系统的急救车,根据交警报告准确定位突发事故现场所在位置,车载交通感知系统利用无线网络实时获取交通信息,驾驶员以最佳路线并绕过塞车的繁忙街区,迅速到达事故现场。在现场急救过程中,便携式设备及时监测、获取病人的脉搏、血压、呼吸等数据,并通过病人随身佩戴的 RFID 标签获知并确认病人身份,用无线网络访问分布式的医疗服务系统,下载有关既往病历数据等信息。这种通过基于移动设备和无线网络实现远程医疗诊断、监护和医疗数据库访问的系统,为现场抢救病人的医生及时提供辅助诊断信息,极大地节省了时间,提高了施治效率。

(6) 在田野

地下埋设的传感器定时检查土壤的温度、湿度、光照强度等,并通过田地里敷设的无线传感器网络及时汇集大片田地的各种数据;通过中央控制室,在需要时打开喷洒或滴灌装置,及时为庄稼浇水、施肥,实行自动化的田间管理。

(7) 在山林

挂在树上、埋在地里的传感器,随时监控林中的火情、山洪和可能的塌方,甚至是林木的病虫灾害;相邻的传感器通过无线网络不仅汇集数据、消除干扰,而且通过多跳的接力通信,将远方山林中的信息传递到林场的中央监控室。林场管理员在办公室即可轻松自如地管理大片林区,及时、准确、安全,又省心、省力。

1.2 无线组网通信

且无线接入已成为有线接入的有效支持、补充和延伸,是快速、灵活装备与实现普遍服务的重要途径;而近年来无线组网通信发展迅速的重要原因,不仅是由于技术已达到可驾驭和可实现的高度,更是因为人们对信息随时随地获取和交换的迫切需要,从而要求各种通信技术发展

的终极目标即是“无处不在”。这也是许多国家和地区都在计划开展的一项称之为“泛在网络 (Ubiquitous Network)”计划的目标：希望通过各种不同通信技术的结合,构建在任何时间、任何地点都能传递任何所需信息的环境,为人们的日常生活带来更多安全与便利。泛在网络的构建,将对人们日常生活中的医疗监护、食品安全、居家生活、社会服务与流通管理等各个层面产生影响,当然也为工业现场及军事应用带来巨大的变化和深远影响。

泛在网络的实现,采用一两种无线技术是不可能办到的。它需要将包括 WLAN(Wi-Fi)、WMAN(WiMAX)、GSM/CDMA、GPRS、3G、WPAN(Bluetooth、ZigBee、UWB)等在内的不同领域的通信技术相互组合、交错应用、互为补充,构建一个包括宏大区、大区、小区、微小区、微微小区、移动、半移动、便携及固定等多种无线通信和接入模式,可有效覆盖三维物理空间的任何角落,并能有效地在任何时间连接至任何用户和设备。

一般认为,WPAN 连接距离多在 10 m 左右,远至 100 m 左右;而无线局域网 WLAN 的连接距离多为一百多米至数千米。尽管本书只介绍 WPAN 通信技术中的一种——ZigBee 无线组网通信技术,但仍有必要将上述几种典型无线通信技术的特点作一个简要汇总,以使读者对无线组网通信有比较全面的了解。

1.3 几种近距离无线通信技术

(1) Wi-Fi(IEEE802.11)

Wi-Fi(Wireless Fidelity)即 IEEE802.11x,其最初规范是在 1997 年提出的。作为目前 WLAN 的主要技术标准,目的是提供无线局域网的接入,可实现几 Mbps 至几十 Mbps 的无线接入。WLAN 最大的特点是便携性,解决了用户“最后 100 m”的通信需求,主要用于解决办公室无线局域网和校园网中用户与用户终端的无线接入。IEEE802.11 流行的几个版本包括:802.11a,在 5.8 GHz 频段最高速率为 54 Mbps;802.11b,在 2.4 GHz 频段速率为 1 Mbps~11 Mbps;802.11g,在 2.4 GHz 频段与 802.11b 兼容,最高速率亦可达到 54 Mbps。Wi-Fi 规定了协议的物理(PHY)层和媒体接入控制(MAC)层,并依赖 TCP/IP 作为网络层。由于其优异的带宽是以较高的功耗为代价的,因此大多数便携 Wi-Fi 装置都需要较高的电能储备,这限制了它在工业场合的推广和应用。

(2) 无线城域网 WiMax

WiMax 亦常被称为“IEEE Wireless MAN”,其基本目标是提供一种在城域网一点对多点的多厂商设备环境下,可有效进行互操作的宽带无线接入手段。WiMax 可实现 74.81 Mbps 的最大传输速度,这个速度是 3G 所能提供的宽带速度的 30 倍,主要解决用户“最后 1 km”的通信需求。作为一种无线城域网技术,它可以将 Wi-Fi 热点连接到互联网,也可作为数字用户线 DSL 等有线接入方式的无线扩展,实现最后 1 km 的宽带接入。WiMax 最大可为 50 km 线性区域内的用户提供服务,用户无需线缆即可与基站建立宽带连接,是极具发展潜力的一种无线接入技术。

(3) 超宽带通信 UWB

超宽带技术 UWB(Ultra WideBand)是一种无线载波通信技术。它不采用正弦载波,而是利用纳秒级的非正弦波窄脉冲传输数据,因此其所占的频谱范围很宽。UWB 可在非常宽的带宽上传输信号,美国 FCC 对 UWB 的规定为:在 3.1~10.6 GHz 频段中占用 500 MHz 以

上的带宽。由于 UWB 可以利用低功耗、低复杂度发射/接收机实现高速数据传输,因此在近年来得到了迅速发展。它在非常宽的频谱范围内,采用低功率脉冲传送数据而不会对常规窄带无线通信系统造成大的干扰,并可充分利用频谱资源。尤其适用于室内等密集多径场所的高速无线接入,非常适于建立一个高效的无线局域网或无线个域网(WPAN)。UWB 最具特色的应用将是视频消费娱乐方面的无线个域网(PAN)。与其他传统的无线通信技术相比较,UWB 传输速率高,通信距离短,平均发射功率低,多径分辨率极高,适合于便携型应用。

(4) 近场通信 NFC

NFC(Near Field Communication, 近距离无线传输)是由 Philips、Nokia 和 Sony 公司主推的一种类似于 RFID(非接触式射频识别)的短距离无线通信技术标准。与 RFID 不同,NFC 采用了双向的识别和连接技术,在 20 cm 距离内工作于 13.56 MHz 频率。NFC 最初仅仅是遥控识别和网络技术的合并,但现在已发展成无线连接技术。它能快速自动地建立无线网络,为蜂窝、蓝牙或 Wi-Fi 设备提供一个“虚拟连接”,使设备间可以在很短距离内进行通信。通过 NFC,可实现多个设备(如数码相机、PDA、机顶盒、电脑、手机等)之间的无线互连,彼此交换数据或服务。与蓝牙等短距离无线通信标准不同的是,NFC 的作用距离进一步缩短且不像蓝牙那样需要有对应的加密设备。

(5) 蓝牙

蓝牙(Bluetooth)工作在 2.4 GHz 的频段,最早是爱立信公司在 1994 年开始研究的一种能使手机与其附件(如耳机)之间互相通信的无线模块,采用 FHSS 扩频方式,蓝牙信道带宽为 1 MHz,异步非对称连接最高数据速率为 723.2 kbps;连接距离一般小于 10 m。蓝牙被归入了 IEEE802.15.1,规定了包括 PHY、MAC、网络和应用层等集成协议栈。为对语音和特定网络提供支持,需要协议栈提供 250 KB 系统开销,从而增加了系统成本和集成复杂性。此外,由于蓝牙对每个微微网最多只能配置 7 个节点,因此制约了其在大型传感器网络中的应用。目前,新的蓝牙标准和技术也在加强速率和距离方面的研究,其 2.0 版拟支持高达 10 Mbps 以上的速率,使用蓝牙技术的无线电收发器的连接距离可达 10 m,使用高增益天线可以将有效通信范围扩展到 100 m。鉴于蓝牙在睡眠状况下消耗的电流及激活延迟,一般电池使用寿命为 2~4 个月。由于蓝牙的上述特性,使得它可以应用于无线设备、图像处理设备、智能卡、身份识别等安全产品,以及娱乐消费、家用电器、医疗健身和建筑等领域。

(6) 红外线数据通信 IrDA

IrDA 是一种利用红外线进行点对点通信的技术。IrDA 标准的无线设备传输速率已从 115.2 kbps 逐步发展到 4 Mbps、16 Mbps。目前,支持它的软硬件技术都很成熟,在小型移动设备(如 PDA、手机、笔记本电脑)上已被广泛使用。它具有移动通信所需的体积小、功耗低、连接方便、简单易用、成本低的特点。由于 IrDA 只能同时在 2 台设备之间连接,并且存在有视距角度等问题,因此一般不会用于工业网络上。

(7) ZigBee

ZigBee 技术是最近发展起来的一种近距离无线通信技术,它功耗低、成本低、易应用,以 2.4 GHz 为主要频段,采用扩频技术。ZigBee 被业界认为是最有可能应用在工业监控、传感器网络、家庭监控、安全系统等领域的无线技术。