

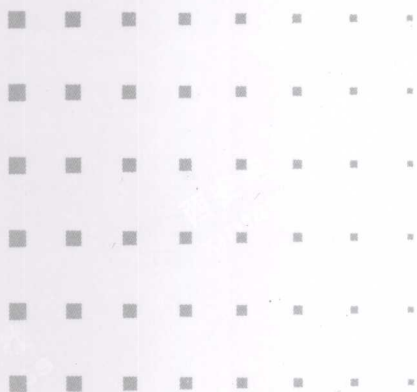


高等学校信息工程类专业规划教材

短距离无线通信及组网技术

主 编 孙 弋

副主编 韩晓冰 张衡伟 陈 旻



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

短距离无线通信及组网技术

主 编 孙 戈

副主编 韩晓冰 张衡伟 陈 旻

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书主要介绍短距离无线通信技术和通信网络的技术及应用,内容涉及短距离无线通信技术及其移动自组织网络领域的几个热点:Wi-Fi 技术、蓝牙技术、ZigBee 技术、移动 Ad hoc 网络技术及相应的 NS2 仿真技术。本书全面分析了 Wi-Fi 技术、蓝牙技术、ZigBee 技术三种短距离无线通信技术的基本理论、基本技术、基本方法,并兼顾具体实际应用。通过本书的学习,有助于读者在短时间内掌握短距离无线通信技术及其组网技术的基本理论和研究方法,并为其应用提供了很好的技术参考。

本书可作为通信与信息系统、计算机科学与技术、电子与信息等相关专业的大学本科高年级学生和研究生教材、参考书,也可作为以上专业工程技术人员的自学参考书。

★本书配有电子教案,需要的老师可与出版社联系,免费提供。

主 编 孙 玮 张 玮 戚 文 艳

图书在版编目(CIP)数据

短距离无线通信及组网技术/孙弋主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2008.3

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-1964-4

I. 短… II. 孙… III. 无线电通信—高等学校—教材 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204880 号

策 划 戚文艳

责任编辑 张 玮 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 19.25

字 数 456 千字

印 数 1~4000 册

定 价 28.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1964 - 4/TN · 0401

XDUP 2256001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。 8005

前 言

自 20 世纪末到 21 世纪初,无线技术和移动通信网络得到了迅猛的发展,各种无线与移动通信技术层出不穷。特别是近年来,以蓝牙、无线局域网为代表的短距离无线通信技术结合无线自组网络技术,在军事、工业、科学及医学领域得到了巨大的发展。

随着短距离无线通信技术的快速发展,各种针对不同应用环境的短距离无线通信技术不断推出,如专门针对低速无线数据业务的 ZigBee 技术等,但是目前缺少一本专门针对各种主流短距离无线通信技术及组网应用的书籍,而本书正好填补了此项空白。

本书共分为 6 章,介绍了目前主流的无线局域网、蓝牙技术和 ZigBee 无线通信技术,它们的主要特点是:均工作在 ISM 频段,覆盖距离在百米左右;主要应用于数据领域,组网简单、灵活等。同时介绍了无线组网技术及其在短距离无线通信中的应用及仿真。

各章的主要内容如下:

第 1 章主要介绍了主流的短距离无线通信技术的概念和分类,并对无线局域网技术、蓝牙技术、IRDA 技术、UWB 技术、NFC 技术及 ZigBee 技术等短距离无线技术做了简单的介绍和特点对比,最后简单介绍了无线自组网络技术及其在短距离无线中的组网应用。

第 2 章介绍了 IEEE 802.11 无线局域网技术的基本概念和原理,介绍了 IEEE 802.11 无线局域网的媒体访问控制 MAC 层基本原理、物理层的基本结构、无线局域网的网络构成及操作,并通过 802.11b、802.11a、802.11g 等几个标准详细介绍了 IEEE 802.11 标准族的发展变化过程,最后探讨了无线局域网的关键技术和协议比较。

第 3 章介绍了蓝牙技术的基本概念及相关协议组织,并从蓝牙的基带与链路控制规范、蓝牙的主控接口规范、蓝牙逻辑链路控制与适配规范、蓝牙服务发现规范、蓝牙串口仿真协议规范及蓝牙的组网技术等几个方面对蓝牙的技术协议进行了详细的分析。

第 4 章介绍了用于低速无线数据业务的 ZigBee 协议,详细介绍了 ZigBee 技术的体系结构、网络结构、协议栈和应用等有关内容。通过对本章的学习,读者会更详细地了解 ZigBee 技术的技术细节和特点。

第 5 章主要介绍了基于 Ad hoc 的无线自组网络技术,并通过对无线自组网络的基本概念、Ad hoc 网络 MAC 协议、Ad hoc 网络路由协议的分析,介绍了 Ad hoc 的一些

基本研究范畴和相关的算法,并分析了用于 Ad hoc 网络的 TCP 协议,为应用短距离无线技术做无线自组网络应用提供了理论依据。

第 6 章主要介绍了开源的网络仿真软件 NS2,详细介绍了该软件的基本原理和运行机制,并介绍了相关的工具软件,最后,就现场工业应用的一个实例介绍了短距离无线自组网络的仿真及其结果。

本书由孙弋博士主编,韩晓冰、张衡伟、陈旻参编,同时研究生周伟、徐瑞华、汪亚东、陈丹阳、刘丽萍等协助编写。本书尽量准确客观地介绍了短距离无线通信领域的一些成熟技术,并对相关组网技术作了相关描述,参考了该领域的相关通信协议和很多学者的研究成果。

由于本书编者学术水平有限,错误疏漏在所难免,希望读者明鉴并予以指正。

编 者

2007 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5 IEEE 802.11 标准系列比较	73
1.1 短距离无线通信技术	1	2.6 IEEE 802.11 无线局域网的物理层	
1.2 各种短距离无线通信技术的发展状况	2	关键技术	76
1.2.1 蓝牙技术	2	2.7 无线局域网的优化方式	78
1.2.2 Wi-Fi 技术	4	2.7.1 网络层的优化——移动 IP	78
1.2.3 IrDA 技术	5	2.7.2 MAC 层的优化——IEEE 802.11e	
1.2.4 UWB 技术	6	标准	80
1.2.5 NFC 技术	6	2.7.3 物理层的优化——双频多模无线	
1.2.6 ZigBee 技术	7	局域网	81
1.3 各种短距离无线通信技术的特点比较	7		
1.4 无线自组织网络技术	8	第 3 章 蓝牙技术及应用	83
1.4.1 无线自组织网络的基本概念	8	3.1 蓝牙技术简介	83
1.4.2 无线自组织网络的分类	9	3.2 蓝牙技术基带与链路控制器规范	85
第 2 章 IEEE 802.11 技术	17	3.2.1 蓝牙基带概述	85
2.1 IEEE 802.11 技术概要	18	3.2.2 蓝牙物理链路	88
2.1.1 概述	18	3.2.3 蓝牙基带分组	89
2.1.2 媒体访问控制(MAC)层	23	3.2.4 蓝牙基带纠错机制	95
2.1.3 物理层	37	3.2.5 蓝牙基带逻辑信道	96
2.1.4 IEEE 802.11 无线局域网的网络构成	43	3.2.6 蓝牙基带收发规则	96
2.1.5 IEEE 802.11 无线局域网的操作	44	3.2.7 蓝牙基带信道控制和网络控制	99
2.2 IEEE 802.11b 技术	45	3.2.8 蓝牙基带收发定时	106
2.2.1 IEEE 802.11b 标准简介	46	3.2.9 蓝牙基带跳频选择	109
2.2.2 IEEE 802.11b PLCP 子层	48	3.2.10 蓝牙基带功率管理	110
2.2.3 PMD 子层	53	3.2.11 蓝牙基带链路监控	110
2.2.4 IEEE 802.11b 的运作模式	54	3.3 蓝牙主机控制器接口协议	110
2.2.5 IEEE 802.11b 的运作基础	55	3.3.1 蓝牙主机控制器接口概述	111
2.2.6 802.11b WLAN 的优缺点分析	55	3.3.2 蓝牙主机控制器接口数据分组	112
2.3 IEEE 802.11a 技术	56	3.3.3 蓝牙主机控制器接口	113
2.3.1 IEEE 802.11a 标准简介	57	3.3.4 蓝牙主机控制器接口事件分组	117
2.3.2 IEEE 802.11a PLCP 子层	61	3.3.5 蓝牙主机控制器接口传输层	118
2.3.3 PMD 子层	69	3.3.6 蓝牙主机控制器接口通信流程	124
2.3.4 802.11a WLAN 的优缺点	70	3.4 蓝牙逻辑链路控制与适配协议	130
2.4 IEEE 802.11g 技术	71	3.4.1 蓝牙逻辑链路控制与适配协议	
		概述	130

3.4.2	蓝牙逻辑链路控制与适配协议的信道	132
3.4.3	蓝牙逻辑链路控制与适配协议的分段与重组	133
3.4.4	蓝牙逻辑链路控制与适配协议的数据分组格式	135
3.4.5	蓝牙逻辑链路控制与适配协议的信令	136
3.5	蓝牙服务发现协议	141
3.5.1	蓝牙服务发现协议概述	141
3.5.2	蓝牙服务发现协议服务记录	142
3.5.3	服务搜索和服务浏览	147
3.5.4	蓝牙服务发现协议说明	148
3.6	蓝牙串口仿真协议	152
3.6.1	蓝牙串口仿真协议概述	152
3.6.2	蓝牙串口仿真协议功能	153
3.6.3	蓝牙串口仿真协议所采用的 TS 07. 10 的子集	155
3.6.4	流控	156
3.7	蓝牙链路管理器	158
3.7.1	蓝牙链路管理器概述	159
3.7.2	蓝牙链路管理器协议规范	160
第 4 章	ZigBee 技术	172
4.1	ZigBee 技术简介	172
4.2	ZigBee 技术组网特性	174
4.2.1	ZigBee 技术的体系结构	177
4.2.2	低速无线个域网的功能分析	178
4.3	ZigBee 物理层协议规范	186
4.3.1	ZigBee 工作频率的范围	186
4.3.2	信道分配和信道编码	187
4.3.3	发射功率和接收灵敏度	188
4.3.4	ZigBee 物理层服务	188
4.3.5	物理层协议数据单元的结构	190
4.3.6	物理层的常量和 PIB 属性	191
4.3.7	2.4 GHz 频带的物理层规范	191
4.3.8	2.4 GHz 频带的无线通信规范	193
4.4	ZigBee 的 MAC 层协议规范	194
4.4.1	MAC 层的服务规范	194

4.4.2	MAC 帧结构	206
4.4.3	MAC 层与物理层之间的信息序列图	214
4.5	ZigBee 技术网络层	216
4.5.1	ZigBee 网络层概述	216
4.5.2	网络层服务协议	218
4.5.3	网络层管理服务	219
4.5.4	帧格式	222
4.5.5	ZigBee 技术的应用	224

第 5 章	无线自组织网络技术	226
5.1	Ad hoc 网络原理	226
5.1.1	基本概念	226
5.1.2	Ad hoc 网络的应用	229
5.2	Ad hoc 网络协议	230
5.2.1	移动 Ad hoc 网络 MAC 协议	230
5.2.2	移动 Ad hoc 网络路由协议	241
5.3	Ad hoc 网络的 TCP 协议	251
5.3.1	TCP 在移动 Ad hoc 网络中遇到的问题	252
5.3.2	移动 Ad hoc 网络中 TCP 的方案	253

第 6 章	NS 无线网络仿真及应用	262
6.1	NS2 简介	262
6.1.1	NS2 的起源	262
6.1.2	NS2 的安装与运行	263
6.1.3	NS2 的目录结构	264
6.1.4	NS2 的特点	265
6.1.5	使用 NS 进行网络模拟的方法和一般过程	265
6.2	NS 基本原理及其运行机制	267
6.2.1	NS 原理概述	267
6.2.2	NS 的离散事件模拟机制	269
6.2.3	NS 基于无线网络仿真实现原理	272
6.2.4	模拟环境的搭建	274
6.2.5	分裂对象模型的基本概念	275
6.2.6	C++ 和 Otcl 的实现原因	275
6.3	NS 相关工具介绍	277
6.3.1	gnuplot	277

6.3.2	gawk.....	278	6.4.1	吞吐量分析	291
6.3.3	cbrgen	280	6.4.2	延时(Delay)	294
6.3.4	setdest	281	6.4.3	抖动率(Jitter).....	296
6.3.5	threshold	282	6.4.4	丢包率(Loss).....	297
6.3.6	nam	283			
6.4	例程及其分析	285	参考文献.....		299

第1章 绪 论

随着电子技术的发展和各种便携式个人通信设备及家用电器等消费类电子产品的增加,人们对于各种消费类电子产品之间及其与其他设备之间的信息交互有了强烈的需求,对于使用便携式设备并需要经常流动工作的人们,希望通过一个小型的、短距离的无线网络为移动的商业用户提供各种服务,实现在任何时候、任何地点、与任何人进行通信并获取信息的个人通信要求,从而促使以蓝牙、Wi-Fi 为代表的短距离无线通信技术应运而生。这些短距离无线通信技术主要应用于家庭、办公室、机场、商场等室内场所,在提高人们生活和工作质量的同时,也对现有的蜂窝移动通信技术和卫星移动通信技术等相对长距离无线通信技术提供了有益的补充。因此,实现低价位、低功耗、可替代电缆的无线数据和语音链路的短距离无线通信(SDR)技术正在成为被关注的焦点。

1.1 短距离无线通信技术

作为有线通信的补充和发展,无线通信系统自 20 世纪,特别是 21 世纪初以来得到了迅猛的发展。其中蜂窝移动通信从模拟无线通信到数字无线通信,从早期的大区制蜂窝系统,支持很少的用户,很低的数据速率,但是有较远的传输距离,到目前的宏蜂窝、微蜂窝,通信半径越来越小,支持用户越来越多,数据传输速率越来越高;从 2 G、2.5 G 到目前将要在国内应用的 3 G,毫无疑问,蜂窝移动通信技术的产生、发展及应用是通信领域最伟大的成就之一。目前 4 G 系统的研究也在积极地展开,通信对于国民经济和国家安全具有越来越重要的意义,和人们生活紧密相关的短距离无线通信技术与系统也得到了迅速的发展。

近年来,在计算机等相关技术的快速进步,高性能、高集成度的 CMOS 和 GaAs 半导体技术和超大规模集成电路技术的发展及低功耗、低成本消费类电子产品对数据通信的强烈需求的推动下,使得短距离无线通信技术得到了快速提高,无线局域网(WLAN)、蓝牙技术、ZigBee 技术及移动自组织网络技术、无线网格网络(WMN)技术取得了巨大进展,各种无线网络技术的相互融合也进入了研究者的视野,未来包括蜂窝移动通信网络、卫星网络、公共交换网络(PSTN)、WLAN/WPAN、蓝牙技术及 ZigBee 技术,均将融合集成到因特网的骨干网中。

什么是短距离无线通信网络?到目前为止学术界和工程界对此并没有一个严格的定义。一般来讲,短距离无线通信的主要特点为通信距离短,覆盖距离一般在 10~200 m;另外,无线发射器的发射功率较低,发射功率一般小于 100 mW,工作频率多为免付费、免申请的全球通用的工业、科学、医学(Industrial, Scientific and Medical, ISM)频段。

短距离无线通信技术的范围很广,在一般意义上,只要通信收发双方通过无线电波传输信息,并且传输距离限制在较短的范围内,通常是几十米以内,就可以称为短距离无线通信。

低成本、低功耗和对等通信,是短距离无线通信技术的三个重要特征和优势。

低功耗是相对其他无线通信技术而言的一个特点,这与其通信距离短这个先天特点密切相关。由于传播距离近,遇到障碍物的几率也小,因而发射功率普遍都很低,通常在 1 毫瓦量级。

对等通信是短距离无线通信的重要特征,有别于基于网络基础设施的无线通信技术。终端之间对等通信,无须网络设备进行中转,因此空中接口设计和高层协议都相对比较简单,无线资源的管理通常采用竞争的方式(如载波侦听)。

一般来讲,短距离无线通信技术从数据速率可分为高速短距离无线通信和低速短距离无线通信两类。高速短距离无线通信的最高数据速率高于 100 Mb/s,通信距离小于 10 m,典型技术有高速 UWB;低速短距离无线通信的最低数据速率低于 1 Mb/s,通信距离小于 100 m,典型技术有 ZigBee、低速 UWB、蓝牙。

高速短距离无线通信技术,目前主要应用于连接下一代便携式消费电器和通信设备。它支持各种高速率的多媒体应用、高质量声像配送、多兆字节音乐和图像文档传送等。

低速短距离无线通信技术,主要用于家庭、工厂与仓库的自动化控制、安全监视、保健监视、环境监视、军事行动、消防队员操作指挥、货单自动更新、库存实时跟踪以及游戏和互动式玩具等方面的低速应用。

1.2 各种短距离无线通信技术的发展状况

1.2.1 蓝牙技术

早在 1994 年,瑞典的爱立信(Ericsson)公司便已经着手蓝牙技术的研究开发工作,意在通过一种短程无线连接替代已经广泛使用的有线连接。1998 年 2 月, Ericsson、Nokia、Intel、Toshiba 和 IBM 共同组建特别兴趣小组。在此之后, 3Com、Lucent、Microsoft 和 Motorola 等公司也相继加盟蓝牙计划。它们的共同目标是开发一种全球通用的小范围无线通信技术,即蓝牙技术。它是针对目前近距离的便携式器件之间的红外线链路(Infrared Link,简称 IrDA)而提出的,应用红外线收发器连接虽然能免去电线或电缆的连接,但是使用起来有许多不便,不仅距离只限于 1~2 m,而且必须在视线上直接对准,中间不能有任何阻挡,同时只限于在两个设备之间进行连接,不能同时连接更多的设备。

蓝牙不是用于远距离通信的技术,它是低成本、短距离的无线个人网络传输(Wireless Personal Area Network, WPAN)应用,其主要目标是提供一个全世界通行的无线传输环境,通过无线电波来实现所有移动设备之间的信息传输服务。这些移动设备包括手机、笔记本电脑、PDA、数码相机、打印机等等。具体地说,蓝牙的目标是提供一种通用的无线接口标准,用微波取代传统网络中错综复杂的电缆,在蓝牙设备间实现方便快捷、灵活安全、低成本、低功耗的数据和语音通信。因此,其载频选用在全球都可用的 2.45 GHz ISM 频带。

蓝牙收/发信机采用跳频扩谱(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)技术。根据蓝牙规范 1.0B 规定,在 2.4~2.4835 GHz 之间 ISM 频带上以 1600 跳/s 的速率进行跳频,可以得到 79 个 1 MHz 带宽的信道。跳频技术的采用使得蓝牙的无线链路自身具备了更高的安全性和抗干扰能力。除采用跳频扩谱的低功率传输外,蓝牙还采用鉴权和加密等措施来提高通信的安全性。

在发射带宽为 1 MHz 时,蓝牙的有效数据速率为 721 kb/s,并采用低功率时分复用方式发射,适合 10 cm~10 m 范围内的通信,若是增加功率或是加上某些外设(如专用的放大器),目前可达到 100 m 的距离。根据蓝牙协议数据包在某个载频上的某个时隙内传递,不同类型的数据(包括链路管理和控制消息)占用不同信道,并通过查询(Inquiry)和寻呼(Paging)过程来同步跳频频率和不同蓝牙设备的时钟。蓝牙宽带协议结合电路开关和分组交换机,适用于语音和数据传输,每个声道支持 64 kb/s 同步(语音)链接,而异步信道支持任一方向上高到 721 kb/s 和回程方向 57.6 kb/s 的非对称链接。因此,它可以足够快地应付蜂窝系统上非常大的数据传输率。

蓝牙支持点到点和点到多点的连接,可采用无线方式将若干蓝牙设备连成一个微微网,多个微微网又可互联成特殊分散网,形成灵活的多重微微网的拓扑结构,从而实现各类设备之间的快速通信。它能在一个微微网内寻址 8 个设备(实际上互联的设备数量是没有限制的,只不过在同一时刻只能激活 8 个,其中 1 个为主设备,7 个为从设备)。

蓝牙技术标准 1.0 的版本已由该蓝牙特殊利益集团于 1999 年 7 月 26 日正式向全世界发布。这是一个经过精心设计的、完整而全面的技术规范,它可以使计算机、通信和信息家电的生产厂家按照此技术规范真正能够开始设计和制造嵌入蓝牙技术的产品。

作为一种电缆替代技术,蓝牙具有低成本、高速率的特点,它可把内嵌有蓝牙芯片的计算机、手机和多种便携通信终端互联起来,为其提供语音和数字接入服务,实现信息的自动交换和处理,并且蓝牙的使用和维护成本据称要低于其他任何一种无线技术。目前蓝牙技术开发的重点是多点连接,即一台设备同时与多台(最多 7 台)其他设备互联。今后,市场上不同厂商的蓝牙产品将能够相互联通。

蓝牙技术的应用主要有以下三类:

(1) 语音/数据接入,指将一台计算机通过安全的无线链路连接到通信设备上,完成与广域网的连接。

(2) 外围设备互联,指将各种设备通过蓝牙链路连接到主机上。

(3) 个人局域网(PAN),主要用于个人网络与信息的共享与交换。

蓝牙技术出众的特点和优点如下:

(1) 蓝牙工作在全球开放的 2.4 GHz ISM 频段。

(2) 使用跳频频谱扩展技术,把频带分成若干个跳频信道(Hop Channel),在一次连接中,无线电收发器按一定的码序列不断地从一个信道“跳”到另一个信道。

(3) 一台蓝牙设备可同时与其他 7 台蓝牙设备建立连接。

(4) 数据传输速率可达 1 Mb/s。

(5) 低功耗、通信安全性好。

(6) 在有效范围内可越过障碍物进行连接,没有特别的通信视角和方向要求。

(7) 组网简单方便。采用“即插即用”的概念,嵌入蓝牙技术的设备一旦搜索到另一蓝牙

设备,马上就可以建立连接,传输数据。

(8) 支持语音传输。

1.2.2 Wi-Fi 技术

Wi-Fi(Wireless Fidelity, 无线高保真)属于无线局域网的一种,通常是指符合 IEEE 802.11b 标准的网络产品,是利用无线接入手段的新型局域网解决方案。Wi-Fi 的主要特点是传输速率高、可靠性高、建网快速便捷、可移动性好、网络结构弹性化、组网灵活、组网价格较低等。

与蓝牙技术一样,Wi-Fi 技术同属于短距离无线通信技术。虽然在数据安全性方面 Wi-Fi 技术比蓝牙技术要差一些,但在电波的覆盖范围方面却略胜一筹,可达 100 m 左右,不用说家庭、办公室,就是小一点的整栋大楼也可使用。

Wi-Fi 技术标准按其速度和技术新旧可分为:IEEE 802.11b、IEEE 802.11a、IEEE 802.11g。

IEEE 802.11b 标准发布于 1999 年 9 月,主要目的是提供 WLAN 接入,也是目前 WLAN 的主要技术标准,它的工作频率也是 2.4 GHz,与无绳电话、蓝牙等许多不需要频率使用许可证的无线设备共享同一频段,且采用加强版的 DSSS,传输率可以根据环境的变化在 11 Mb/s、5.5 Mb/s、2 Mb/s 和 1 Mb/s 之间动态切换。目前 IEEE 802.11b 标准是当前应用最为广泛的 WLAN 标准,其缺点是速度还是不够高,且所在的 2.4 GHz 的 ISM 频段的带宽比较窄(仅有 85 MHz),同时还要受到微波、蓝牙等多种干扰源的干扰。

IEEE 802.11a 标准使用 5 GHz-NII 频率,总带宽达到 300 MHz,远大于 IEEE 802.11b 标准所在的 ISM 频段,且这个频段比较干净,干扰源较少。它使用 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,正交频分多路复用)调制技术,传输速率为 54 Mb/s,比 IEEE 802.11b 标准采用的补码键控(Complementary Code Keying, CCK)调制方案快。但是,因为 IEEE 802.11a 标准采用的设备的制造成本比较高,且与目前市场早已广泛部署的 IEEE 802.11b 标准设备不兼容,所以,虽然推出很久,但是却一直无法挑战 IEEE 802.11b 标准的主流地位。

速度更快的 IEEE 802.11g 标准使用与 IEEE 802.11b 标准相同的 2.4 GHz 的 ISM 免特许频段,采用了两种调制方式:IEEE 802.11a 标准采用的 OFDM 和 IEEE 802.11b 标准采用的 CCK。通过采用这两种分别与 IEEE 802.11a 标准和 IEEE 802.11b 标准相同的调制方式,使 IEEE 802.11g 标准不但达到了 IEEE 802.11a 标准的 54 Mb/s 的传输速率,同时也实现了与现在广泛采用的 IEEE 802.11b 标准设备的兼容。IEEE 802.11g 标准虽然还在草稿阶段,但是根据最近国际消费电子产品的发展趋势判断,IEEE 802.11g 标准将有可能被大多数无线网络产品制造商选择作为产品标准。

Wi-Fi 技术的优势在于:

其一,无线电波的覆盖范围广,基于蓝牙技术的电波覆盖范围非常小,半径大约只有 15 m,而 Wi-Fi 的半径则可达 100 m 左右。最近, Vivato 公司推出了一款新型交换机,据悉,该款产品能够把目前 Wi-Fi 无线网络接近 100 m 的通信距离扩大到约 6500 m。

其二,虽然由 Wi-Fi 技术传输的无线通信质量不是很好,数据安全性比蓝牙差一些,传输质量也有待改进,但传输速度非常快,可以达到 11 Mb/s,符合个人和社会信息化的需求。

其三, 厂商进入该领域的门槛比较低。厂商只要在机场、车站、咖啡店、图书馆等人员较密集的地方设置“热点”, 并通过高速线路将 Internet 接入上述场所。这样, 由于“热点”所发射出的电波可以达到距接入点半径数十米至 100 米的地方, 用户只要将支持无线 LAN 的笔记本电脑或 PDA 拿到该区域内, 即可高速接入 Internet。也就是说, 厂商不用耗费资金来进行网络布线接入, 从而节省了大量的成本。

Wi-Fi 是由 AP(Access Point)和无线网卡组成的无线网络。AP 一般称为网络桥接器或接入点, 它是当作传统的有线局域网络与无线局域网络之间的桥梁, 因此任何一台装有无线网卡的 PC 均可透过 AP 去分享有线局域网络甚至广域网络的资源, 其工作原理相当于一个内置无线发射器的 Hub 或者是路由; 而无线网卡则是负责接收由 AP 所发射信号的 CLIENT 端设备。Wi-Fi 与有线相比有许多优点, 具体如下:

(1) 无须布线。Wi-Fi 最主要的优势在于不需要布线, 可以不受布线条件的限制, 因此非常适合移动办公用户的需要, 具有广阔的市场前景。目前它已经从传统的医疗保健、库存控制和管理服务等特殊行业向更多行业拓展开去, 甚至开始进入家庭以及教育机构等领域。

(2) 健康安全。IEEE 802.11 规定的发射功率不可超过 100 mW, 实际发射功率约为 60~70 mW, 这是一个什么样的概念呢? 手机的发射功率约为 200 mW~1 W 之间, 手持式对讲机的发射功率高达 5 W, 而且无线网络使用方式并非像手机一样直接接触人体, 应该是绝对安全的。

(3) 简单的组建方法。一般架设无线网络的基本配备就是无线网卡及一台 AP, 如此便能以无线的模式, 配合既有的有线架构来分享网络资源, 架设费用和复杂程序远远低于传统的有线网络。如果只是几台电脑的对等网, 也可不用 AP, 只需为每台电脑配备无线网卡。特别是对于宽带的使用, Wi-Fi 更显优势, 有线宽带网络(ADSL、小区局域网(LAN)等)到户后, 连接到一个 AP, 然后在电脑中安装一块无线网卡即可。普通的家庭有一个 AP 已经足够, 甚至用户的邻里得到授权后, 无须增加端口, 也能以共享的方式上网。

(4) 长距离工作。虽然无线 Wi-Fi 的工作距离不大, 但是在网络建设完备的情况下, IEEE 802.11b 标准的真实工作距离可以达到 100 m 以上, 解决了高速移动时数据的纠错问题、误码问题, Wi-Fi 设备与设备、设备与基站之间的切换和安全认证都得到了很好的实现。

1.2.3 IrDA 技术

红外线数据协会(Infrared Data Association, IrDA)成立于 1993 年, 是致力于建立红外线无线连接的非营利组织。起初, 采用 IrDA 标准的无线设备仅能在 1 m 范围内以 115.2 kb/s 的速率传输数据, 很快发展到 4 Mb/s 的速率, 后来, 速率又达到 16 Mb/s。

IrDA 技术是一种利用红外线进行点对点通信的技术, 它也许是第一个实现无线个人局域网(PAN)的技术。目前它的软硬件技术都很成熟, 在小型移动设备(如 PDA、手机)上广泛使用。事实上, 当今每一个出厂的 PDA 及许多手机、笔记本电脑、打印机等产品都支持 IrDA 技术。

IrDA 的主要优点是无须申请频率的使用权, 因而红外通信成本低廉。它还具有移动通信所需的体积小、功耗低、连接方便、简单易用的特点; 由于数据传输率较高, 因而适于传输大容量的文件 and 多媒体数据。此外, 红外线发射角度较小, 传输安全性高。

IrDA 的不足在于它是一种视距传输, 2 个相互通信的设备之间必须对准, 中间不能被其他物体阻隔, 因而该技术只能用于 2 台(非多台)设备之间的连接。IrDA 目前的研究方向是如何解决视距传输问题及提高数据传输率。

1.2.4 UWB 技术

超宽带技术(Ultra Wideband, UWB)是另一个新发展起来的无线通信技术。UWB 通过基带脉冲作用于天线的方式发送数据。窄脉冲(小于 1ns)产生极大带宽的信号。脉冲采用脉位调制(Pulse Position Modulation, PPM)或二进制移相键控(BPSK)调制。UWB 被允许在 3.1~10.6 GHz 的波段内工作, 主要应用在小范围、高分辨率, 能够穿透墙壁、地面和身体的雷达和图像系统中。除此之外, 这种新技术适用于对速率要求非常高(大于 100Mb/s)的 LAN 或 PAN。

军事部门已对 UWB 进行了多年研究, 开发出了分辨率极高的雷达。直到 2002 年 2 月 14 日, 美国 FCC(联邦通信委员会)才准许该技术进入民用领域。所以对于商业和消费领域, UWB 还是新鲜事物。但据报道, 一些公司已开发出 UWB 收发器, 用于制造能够看穿墙壁、地面的雷达和图像装置, 这种装置可以用来检查道路、桥梁及其他混凝土和沥青结构建筑中的缺陷, 可用于地下管线、电缆和建筑结构的定位。另外, 在消防、救援、治安防范及医疗、医学图像处理中都大有用武之地。

UWB 的一个非常有前途的应用是汽车防撞系统。戴姆勒克莱斯勒公司已经试制出用于自动刹车系统的雷达。在不久的将来, 这种防撞雷达将成为高级汽车的一个选件。UWB 最具特色的应用将是视频消费娱乐方面的无线个人局域网(PAN)。考察现有的无线通信方式, IEEE 802.11b 标准和蓝牙的速率太慢, 不适合传输视频数据; 54 Mb/s 速率的 IEEE 802.11a 标准可以处理视频数据, 但费用昂贵; 而 UWB 有可能在 10 m 范围内, 支持高达 110 Mb/s 的数据传输率, 不需要压缩数据, 可以快速、简单、经济地完成视频数据处理。

1.2.5 NFC 技术

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。和 RFID 不同, NFC 采用了双向的识别和连接。在 20 cm 距离内工作于 13.56 MHz 频率范围。

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, 为蜂窝设备、蓝牙设备、Wi-Fi 设备提供一个“虚拟连接”, 使电子设备可以在短距离范围进行通信。NFC 的短距离交互大大简化了整个认证识别过程, 使电子设备间互相访问更直接、更安全和更清楚, 不会再听到各种电子杂音。

NFC 通过在单一设备上组合所有的身份识别应用和服务, 帮助解决记忆多个密码的麻烦, 同时也保证了数据的安全保护。有了 NFC, 多个设备如数码相机、PDA、机顶盒、电脑、手机等之间的无线互联、彼此交换数据或服务都将有可能实现。

此外, NFC 还可以将其他类型无线通信(如 Wi-Fi 和蓝牙)“加速”, 实现更快和更远距离的数据传输。每个电子设备都有自己的专用应用菜单, 而 NFC 可以创建快速安全的连接, 而无须在众多接口的菜单中进行选择。与知名的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。

同样,构建 Wi-Fi 家族无线网络需要多台具有无线网卡的电脑、打印机和其他设备。除此之外,还得有一定技术的专业人员才能胜任这一工作。而 NFC 被置入接入点之后,只要将其中两个靠近就可以实现交流,比配置 Wi-Fi 连接容易得多。

1.2.6 ZigBee 技术

ZigBee 可以说是蓝牙的同族兄弟,它使用 2.4 GHz 波段,采用跳频技术。与蓝牙相比,ZigBee 更简单,速率更慢,功率及费用也更低。它的基本速率是 250 kb/s,当降低到 28 kb/s 时,传输范围可扩大到 134 m,并获得更高的可靠性。另外,ZigBee 可与 254 个节点联网,比蓝牙能更好地支持游戏、消费电子、仪器和家庭自动化应用。人们期望能在工业监控、传感器网络、家庭监控、安全系统和玩具等领域继续拓展 ZigBee 的应用。

1.3 各种短距离无线通信技术的特点比较

上面简单地介绍了各种无线通信技术的特征,同时对近年来相关短距离无线通信技术的性能进行了简要的介绍。表 1-1 为几种短距离无线通信技术在通信速率、通信特点和应用场合的比较。

表 1-1 几种短距离无线通信技术的比较

规范	ZigBee	红外	蓝牙	802.11b	802.11a	802.11g
工作频率	868/915 MHz 2.4 GHz	820 nm*	2.4 GHz	2.4 GHz	5.2 GHz	2.4 GHz
传输速率 (Mb/s)	0.25	1.521/4/16	1/2/3	11	54	54
数据/语音	数据	数据	语音/数据	数据	数据	数据
最大功耗/mW	1~3	数个	1~100	100	100	100
传输方式	点到多点	点到点	点到多点	点到多点	点到多点	点到多点
连接设备数	216~264	2	7	255	255	255
安全措施	32、64、128 位密钥	靠短距离、 小角度传 输保证	1600 次/s 跳频、128 位密钥	WEP 加密	WEP 加密	WEP 加密
支持组织	ZigBee 联盟	IrDA	Bluetooth	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
主要用途	控制网络、 家庭网络、 传感器网络	透明可见 范围、近距 离遥控	个人网络	无线局域网	无线局域网	无线局域网

* 820 nm 为波长。

1.4 无线自组织网络技术

由于有线通信方式对应用范围的限制,无线通信技术得到了迅猛的发展,但是一般来说,移动无线通信网络通常以蜂窝移动通信网络或无线局域网的形式存在,也就是说,需要以通信基站或者无线局域网接入点作为网络基础。在蜂窝移动通信中,移动通信基站负责终端的接入,路由和交换功能通过移动交换机提供,同时通过移动交换机接入公用固定网络;在无线局域网中,具备无线网卡的移动节点通过无线接入点连接到局域网络中,无线网桥可以连接两个距离较远并且不方便进行网络布线的局域网,无线局域网设备通过数据链路层和物理层完成桥接和信号中继功能。从网络层协议来看,无线局域网是一个单跳网络。随着互联网技术应用的快速发展与普及,在 Internet 环境下,移动 IP 协议可以支持主机的移动性,移动节点可以通过连接到存在外地代理的固定有线网络、无线链路或拨号网络等各种方式接入 Internet。在移动 IP 协议中,为支持节点的移动性引入了地址管理机制,但是在 Internet 骨干网中,仍然采用原有的路由协议(RIP、OSPF 等)进行 IP 数据分组的逐跳转发。

总体来讲,蜂窝移动通信网络和无线局域、移动 IP 协议都属于现有网络基础设施范畴,它们需要类似基站、访问服务点或外地代理这样的中心控制设备。但是,在很多特殊环境(如动态环境下)和应急情况下,没有可用的网络基础设施如何通信?这就要求能够动态的、可以快速部署的、不依赖或者很少依赖现有的有线网络,也就是无线自组织网络,也称 Ad hoc 网络。

Ad hoc 网络中信息流采用分组数据格式,传输采用包交换机制,基于 TCP/IP 协议族。若干个移动终端组成一个独立的 IP 网络,与固定的互联网并行,需要时也可以与固定的互联网互联。根据底层采用的无线通信技术而有所不同,网络部署速度从数秒到数个小时。

1.4.1 无线自组织网络的基本概念

无线自组织网络(Ad hoc Network)是由一组带有无线通信收发装置的移动终端节点组成的一个多跳临时性无中心网络,可以在任何时刻、任何地点快速构建起一个移动通信网络,并且不需要现有信息基础网络设施的支持,网络中的每个终端可以自由移动,地位相等,也称为多跳无线网(Multi-hop Wireless Network)。

Ad hoc 网络是一种移动通信和计算机网络相结合的网络,是移动计算机通信网络的一种类型,它是移动通信技术和计算机网络技术的交叉和结合。一方面,网络的信息交换采用了计算机网络中的分组交换机制,而不是电话交换网中的电路交换机制;另一方面,用户终端是可以移动的便携式终端,如笔记本计算机、PDA、车载机等,并配置有相应的无线收发装置,用户可以随意移动或处于静止状态。在自组网中,用户终端不仅可以移动,而且兼有路由器和主机两种功能。一方面作为主机,终端具有运行各种面向用户的应用程序的能力;同时,作为路由器,终端可以运行相应的路由协议,根据路由策略和路由表完成数据的分组转发和路由维护工作。在部分通信网络遭到破坏后,这种分布式控制和无中

心的网络结构能维持剩余的通信能力, 确保重要的通信指挥畅通, 因而具有很强的鲁棒性和抗毁性。

作为一种无中心分布控制网络, 自组网是一种自治的无线多跳网, 整个网络没有固定的基础设施, 可以在不能利用或不方便利用现有网络基础设施的情况下, 提供通信支撑环境, 拓宽移动网络的应用场合。自组网中没有固定的路由器, 所有节点都是移动的, 并且都可以以任意的方式动态地保持与其他节点的联系。在这种环境中, 由于终端的无线覆盖范围的有限性, 两个无法直接进行通信的用户终端可以借助于其他节点进行分组转发。每个节点均可以充当路由器, 完成发现和维持到其他节点路由的功能。

短距离无线通信的主要局限性就在于其发射功率低带来的覆盖范围有限, 借助于无线自组织网络就可以扩展短距离无线通信网络的覆盖范围和应用领域。

1.4.2 无线自组织网络的分类

根据节点是否移动, 无线自组织网络可以分为无线传感器网络和移动 Ad hoc 网络。

1. 无线传感器网络

随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点通过自组织的方式构成网络, 借助于节点中内置的形式多样的传感器测量所在周边环境中的热、红外、声纳、雷达和地震波信号, 从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多我们感兴趣的物质现象。在通信方式上, 虽然可以采用有线、无线、红外和光等多种形式, 但一般认为短距离的无线低功率通信技术最适合传感器网络使用, 为明确起见, 一般称做无线传感器网络。

无线传感器网络与传统的无线网络(如 WLAN 和蜂窝移动电话网络)有着不同的设计目标, 后者在高度移动的环境中通过优化路由和资源管理策略最大化带宽的利用率, 同时为用户提供一定的服务质量保证。在无线传感器网络中, 除了少数节点需要移动以外, 大部分节点都是静止的。因为它们通常运行在人无法接近的恶劣的甚至危险的远程环境中, 能源无法替代, 设计有效的策略延长网络的生命周期成为无线传感器网络的核心问题。当然, 从理论上讲, 太阳能电池能持久地补给能源, 但工程实践中生产这种微型化的电池还有相当的难度。在无线传感器网络的研究初期, 人们一度认为成熟的 Internet 技术加上 Ad hoc 路由机制对传感器网络的设计是足够充分的, 但深入的研究表明: 传感器网络有着与传统网络明显不同的技术要求, 前者以数据为中心, 后者以传输数据为目的。为了适应广泛的应用程序, 传统网络的设计遵循着“端到端”的边缘论思想, 强调将一切与功能相关的处理都放在网络的端系统上, 中间节点仅仅负责数据分组的转发, 对于传感器网络, 这未必是一种合理的选择。一些为自组织的 Ad hoc 网络设计的协议和算法未必适合传感器网络的特点和应用的要求。节点标识(如地址等)的作用在传感器网络中就显得不是十分重要, 因为应用程序不怎么关心单节点上的信息; 中间节点上与具体应用相关的数据处理、融合和缓存也显得很有必要。在密集型的传感器网络中, 相邻节点间的距离非常短, 低功耗的多跳通信模式节省功耗, 同时增加了通信的隐蔽性, 也避免了长距离的无线通信易受外界噪声干扰的影响。这些独特的要求和制约因素为传感器网络的研究提出了新的技术问题。

无线传感器网络和无线 Ad hoc 网络相比有以下差异: