

无线监控组网与 信息安全

王 征 江汉红 杨 武 尹 洋 郑宇锋 张朝亮 ○ 编著



科学出版社

无线监控组网与信息安全

王 征 江汉红 杨 武 尹 洋 郑宇锋 张朝亮 编著



科学出版社

北 京

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

内 容 简 介

本书主要围绕无线组网及相关的信息安全问题展开各章内容的陈述。

在上篇（第1章～第5章）内容中，首先在概论部分简要介绍无线组网的发展历程；其次从无线组网的相关通信机制入手，介绍无线组网过程中可能涉及的通信原理和基本技术；然后介绍无线组网的国际通行标准及相关组网技术，并结合目前较为常见的应用案例进行分析。

在下篇（第6章～第9章）内容中，首先介绍基本的无线网络加密和认证技术；其次结合无线组网的信息安全问题，介绍一些保护信息安全的方法；最后对无线组网的多种安全策略进行较为详细的分析。

本书基本上涵盖了无线组网以及涉及信息安全的主要内容，可作为高等院校研究生、高年级本科生学习无线网络的教材，也可供相关专业技术人员和教育工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线监控组网与信息安全 / 王征等编著. —北京：科学出版社，2018.9
ISBN 978-7-03-058763-3

I. ①无… II. ①王… III. ①无线网-组网技术-信息安全 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 205716 号

责任编辑：吉正霞 霍明亮 / 责任校对：王晓茜
责任印制：彭 超 / 封面设计：彬 峰

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

武汉中科兴业印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 9 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2018 年 9 月第一次印刷 印张：13 1/2

字数：317 000

定价：55.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

前 言

无线网络技术发展迅速,应用领域也与日俱增,随之而来的信息安全问题越来越多地影响着人们生活的方方面面。传统的无线网络书籍和信息安全书籍基本上只涉及各自的技术领域,结合实际案例进行论述的专业书籍尚不多见,这一现象已经不再满足当前网络实际应用状况的需求,研究者和无线网络安全从业人员急需一部全面讲解无线网络及其信息安全技术和应用案例的书籍,因此编写本书迫在眉睫。

本书主要介绍无线组网与信息安全的基本原理和最新研究进展。其中,第1章介绍无线组网的发展历程、基本概念和大致分类;第2章介绍无线组网的相关通信机制;第3章介绍无线组网的多个技术标准;第4章介绍与无线组网多个技术标准相关的各种典型应用技术;第5章介绍无线组网的相关应用案例;第6章介绍无线网络的相关加密技术;第7章介绍无线网络的相关认证技术;第8章介绍与无线移动组网信息安全相关的领域,以及各种安全问题和解决思路;第9章介绍无线移动组网的各种安全策略。

本书编著分工如下,王征编写了第1、2章,江汉红编写了第3、4章,杨武编写了第5章,尹洋编写了第6、7章,郑宇锋编写了第8章,张朝亮编写了第9章。

本书在成书的过程中,得到了科学出版社吉正霞编辑的大力帮助,在此表示衷心的感谢。最后,向所有为本书成书提供帮助的人致谢,所有的撰稿人在各自的章节中倾注了大量的精力,特别是杨武对全书各个章节进行细致的审阅、编排和详细整理,在此表示感谢。由于作者水平有限,不足之处在所难免,在此衷心希望读者提出意见和建议。

作 者

2018年4月于武汉

目 录

前言

上 篇

第1章 概论	3
1.1 无线组网的发展历程	3
1.1.1 二十世纪六十年代	3
1.1.2 二十世纪七十年代至九十年代初期	3
1.1.3 二十世纪九十年代中后期至今	4
1.2 无线组网的分类	5
1.2.1 无线个域网	5
1.2.2 无线局域网	9
1.2.3 无线城域网	12
1.2.4 无线广域网	12
1.2.5 无线区域网	13
1.2.6 无线自组织网络	13
1.3 本书组织结构	14
第2章 无线组网相关通信机制	15
2.1 扩频	15
2.1.1 直序列扩频	15
2.1.2 跳频	17
2.2 正交频分复用	19
2.2.1 简介	19
2.2.2 原理	19
2.2.3 应用	20
2.3 时隙 ALOHA	21
2.3.1 简介	21
2.3.2 原理	22
2.3.3 应用	23
2.4 载波侦听多址接入	24
2.4.1 简介	24
2.4.2 原理	24

2.4.3 应用	25
2.5 双相相移键控	28
2.5.1 简介	28
2.5.2 原理	28
2.5.3 应用	30
2.6 四相相移键控	30
2.6.1 简介	30
2.6.2 原理	32
2.6.3 应用	32
2.7 正交振幅调制	32
2.7.1 简介	32
2.7.2 原理	33
2.7.3 应用	35
第3章 无线组网技术标准	36
3.1 无线个域网	36
3.1.1 概述	36
3.1.2 相关标准	37
3.2 无线局域网	39
3.2.1 概述	39
3.2.2 相关标准	40
3.3 无线城域网	47
3.3.1 概述	47
3.3.2 相关标准	48
3.4 无线广域网	50
3.4.1 概述	50
3.4.2 相关标准	51
3.5 无线区域网	53
3.5.1 概述	53
3.5.2 IEEE 802.22 相关机制	54
第4章 典型的无线组网应用技术	58
4.1 超宽带	58
4.1.1 概述	58
4.1.2 主要技术指标	58
4.1.3 技术原理	58
4.1.4 UWB 的特点以及与其他技术的比较	62
4.1.5 UWB 的应用	64
4.2 蓝牙	64
4.3 ZigBee	65

4.4 无线 USB	68
4.4.1 起源和主要特征	68
4.4.2 协议栈	68
4.4.3 WUSB 无线技术	68
4.4.4 媒体接入层	69
4.4.5 无线 USB 信道	69
4.4.6 无线 USB 的应用	70
4.5 IrDA	71
4.5.1 IrDA 协议分析	71
4.5.2 IrDA 建立连接的过程	72
4.5.3 红外通信电路标准方案	73
4.6 HomeRF	73
第 5 章 无线组网的应用实例	75
5.1 WPAN 应用实例	75
5.1.1 美军自愈式雷场系统	75
5.1.2 基于 ZigBee 的船舶综合管理平台无线监控网络	76
5.2 WLAN 应用实例	79
5.2.1 办公室无线局域网的组建	79
5.2.2 舰船编队移动组网(中心模式与自组织模式)	81
5.2.3 WLAN 上的语音服务	86
5.3 WMAN 应用实例	87
5.3.1 无线城域网试验网	87
5.3.2 视频监控应用与视频传输	88
5.4 WWAN 应用实例	90
5.5 WRAN 应用实例	92
5.6 无线网络在其他相关领域的应用	93
5.6.1 用于工业测控	93
5.6.2 用于军事领域	93

下 篇

第 6 章 无线网络的相关加密技术	99
6.1 保密学基础知识	99
6.1.1 保密学的基本概念	99
6.1.2 密码体制分类	101
6.1.3 密码分析原理	103
6.1.4 保密系统的保密性与随机性分析	105
6.2 流密码技术	110

6.2.1	流密码的基本概念	110
6.2.2	线性反馈移位寄存器序列概念	115
6.2.3	混沌密码序列	117
6.2.4	量子密码	118
6.3	分组密码技术	122
6.3.1	分组密码概述	122
6.3.2	分组密码的工作模式	125
6.3.3	DES	127
6.3.4	IDEA	129
6.3.5	AES	135
6.3.6	其他对称密钥密码系统	136
6.4	双钥密码体制	137
6.4.1	双钥密码体制的基本概念	138
6.4.2	RSA 密码体制	140
6.4.3	ElGamal 密码	141
6.4.4	椭圆曲线密码体制	143
第 7 章	认证技术	145
7.1	安全杂凑函数与消息认证码	145
7.1.1	MD5	145
7.1.2	安全杂凑算法 (SHA-1)	147
7.1.3	HMAC	149
7.2	数字签名	150
7.2.1	数字签名算法	150
7.2.2	RSA 签名方案	151
7.2.3	椭圆曲线数字签名算法	151
第 8 章	无线组网的信息安全	154
8.1	无线窃听的内容、方法	154
8.2	假冒攻击	154
8.3	信息篡改	155
8.4	服务后抵赖	155
8.5	重传攻击	156
第 9 章	无线自组网的安全策略	157
9.1	802.11 的安全策略	157
9.1.1	SSID 认证	157
9.1.2	WEP-RC4 加解密	158
9.1.3	过滤 MAC 地址	162
9.1.4	过滤协议	164
9.2	802.11i 安全策略	164

9.2.1 802.1X/EAP 认证	164
9.2.2 RSN 密钥管理	168
9.2.3 TKIP 密码协议	179
9.2.4 WRAP 与 CCMP 密码协议	182
9.3 VPN 安全策略	195
9.3.1 VPN 身份认证	196
9.3.2 隧道技术	199
9.3.3 密钥管理	199
参考文献	202

第1章 概 论

1.1 二十世纪的文学研究

1.1.1 二十世纪的文学研究

上 篇

1.1.1.1 二十世纪的文学研究

1.1.1.2 二十世纪的文学研究

1.1.1.3 二十世纪的文学研究

1.1.2 二十世纪的文学研究

1.1.2.1 二十世纪的文学研究

1.1.2.2 二十世纪的文学研究

第 1 章 概 论

1.1 无线组网的发展历程

1.1.1 二十世纪六十年代

移动自组织网络即移动无线网络是一种多跳的临时性自治系统,它的原型是美国早在 1968 年建立的 ALOHA 网络。ALOHA 网络需要固定的基站,网络中的每一个节点都必须和其他所有节点直接连接才能互相通信,是一种单跳网络。

1968 年,为了使分布在四个岛屿七个校园的人们能够实现计算机之间的通信,美国夏威夷大学构建了第一个自组织网络——ALOHA 网络。在该网内,计算机不能移动,相互之间一跳可达。这个项目最突出的贡献是首先研究了共享媒介的多站点接入信道问题,并提出了著名的 ALOHA 协议。

1.1.2 二十世纪七十年代至九十年代初期

1973 年,在最初开发报文交换技术(后来发展成因特网)不久,美国国防部高级研究计划局资助了一项特别的研究,使得报文交换技术在不受固定或有线的基础设施限制的环境下运行,而最初的动机之一就是满足战场生存的军事需求。在恶劣的战场环境下,通信设备不可能依赖已经敷设的通信基础设施,一方面这些设施可能根本不存在,另一方面,这些设施会随时遭到破坏。因此,能快速装备、自组织的移动基础设施是这种网络区别于其他商业蜂窝系统的基本要素。在结构上,这种网络是由一系列移动节点组成的,是一种自组织网络,它不依赖于任何已有的网络基础设施。网络中的节点动态且任意分布,节点之间通过无线方式互连,它将分组交换网络的概念引申到广播网络的范畴。这项工作开辟了移动自组网(mobile adhoc network, AdHoc 网络或 MANET)研发的先河。该项目把 ALOHA 技术和分组交换技术移植到军用环境中,开发了第一个高速的移动无线网络——分组无线网(packet radio network, PRNET)。美国国防部高级研究计划局的 PRNET 是早期自组网之一,对自组网的发展起了奠基性作用,它所累积的经验对后续的研究与开发有着巨大而深远的影响。与此同时,美国政府还资助了其他一些相关研究项目,其中包括“可生存自适应网络”“低成本报文无线电”“可生存通信网络”“战术因特网和近期无线电”项目等。由于自组网可以广泛地应用于战场通信指挥与控制、警察与医疗部门的抢险救灾、传感器网络、课堂教育等众多领域,其战略意义非常重要。

由夏威夷大学开发的 ALOHA 网络是一种单跳网络,而 PRNET 的出现使得真正意义上的多跳网络成为现实,网络中的各个节点不需要直接连接,而是能够通过中继的方式,

在距离很远而无法直接通信的两个节点之间传送信息。IEEE 在开发 802.11 标准时, 提出将 PRNET 改名为 Ad Hoc 网络, 也就是今天我们常说的移动自组织网络。

美国海军实验室于 20 世纪 70 年代末研制完成了短波自组织网络 HF-ITF 系统, 该系统是采用跳频方式组网的低速自组网。HF-ITF 是根据海军特遣舰队的实际要求设计研制的, 工作在短波频段, 采用 ALOHA 信道介入方式, 用于把 500km 范围内的舰船、飞机、潜艇连成一体。

1994 年, 美国国防部高级研究计划局启动了全球移动信息系统 (globe mobile information systems, GloMo) 计划, 研究范围几乎覆盖了无线通信的所有相关领域。其中, 采用了大量新技术、在 PRNET 成功的经验基础上所开发的无线自适应移动信息系统 (wireless adaptive mobile information system, WAMIS), 是一种在多跳、移动环境下支持实时多媒体业务的高速分组无线网。该网络采用全分布式控制, 节点可以自适应组网、分群, 组成一个两层结构的分层分布式网络; 群内节点使用时分多址 (time division multiple access, TDMA) 方式接入网络, 不同群的节点使用直序码分多址 (direct sequence code division multiple access, DS-CDMA) 技术加以区分; 提供数据报和虚电路两种服务来支持多业务传输。GloMo 计划下与自组网有关的两个重要项目是 NTDR (near term digital radio) 与 WINGs (wireless internet gateways, 无线因特网互连计划)。NTDR 是美军用于在移动无线环境下支持 IP (internet protocol, 网络之间互连的协议) 数据业务的战术无线电台, 美军打算把它作为实现旅或旅以下战术作战中心 (tactical operations center, TOC) 之间通信的骨干无线电台。NTDR 使用了两个天线, 一个用于嵌入式 GPS (global position system, 全球定位系统) 接收机, 另一个用于超高频 (ultra high frequency, UHF) 频段 (225~450MHz) 的通信。WINGs 由美国加州大学圣克鲁兹分校工程学院计算机工程系计算机通信研究小组与美国 Rooftop 通信公司共同开发, 该项目开始于 1996 年, 结束于 2000 年, 其主要目的是将无线移动自组网与因特网进行无缝结合。

1.1.3 二十世纪九十年代中后期至今

20 世纪 90 年代以来, 在民用系统中也逐渐出现无线自组网的标准和应用。随着一些技术的公开, Ad Hoc 网络开始成为移动通信领域一个公开的研究热点, 其发展开始进入民用推动时期。目前, 无线自组网在民用方面的应用主要体现在无线局域网与无线个域网上。第一代无线局域网标准 IEEE 802.11 于 1997 年 6 月发布, 该标准支持一跳的 Ad Hoc 工作模式, 这进一步推动了自组网的发展。1994 年, 瑞典 Ericsson 公司推出蓝牙 (bluetooth) 技术开发计划, 1999 年公布了第一版蓝牙技术规范。蓝牙技术也是自组网技术的一种应用, 它具有自组织能力, 可以实现便携式计算机、打印机、耳机等其他便携式设备的互连互通, 方便地构成个人网络。目前, 蓝牙已经成为面向个域网 (personal area network, PAN) 的 IEEE 标准——IEEE 802.15.1。

互联网工程任务组 (Internet Engineering Task Force, IETF) 的移动自组网工作组也正在研究开发因特网框架下的移动自组织网络技术规范, 并希望这些技术以后可以成为因特网标准。这个工作组在前期工作中开展了广泛的研究, 探讨了适合自组网的路由和性能,

并推出了一批草案。目前,这个工作组正将按需距离矢量(ad hoc on-demand distance vector, AODV)路由、临时排序路由算法(temporarily ordered routing algorithm, TORA)、最优链路状态路由(optimized link state routing, OLSR)、动态源路由(dynamic source routing, DSR)等4个路由协议草案推向试验请求评议(request for comments, RFC)状态。

目前,自组网的应用范围不断拓展。其中,一个重要方向就是在公共移动通信领域(例如,蜂窝移动通信系统)中支持自组织方式。由3GPPTR25.924提出的智慧随机选径(opportunity driven multiple access, ODMA)技术是在通用地面无线接入(universal terrestrial radio access, UTRA)时分双工(time division dual, TDD)模式中支持移动终端中继的一种方式,是第三代移动通信系统引入自组网的一种尝试。早在1996年,在欧洲电信标准协会(European Telecommunication Standard Institute, ETSI)的特别移动通信组2(Special Mobile Group Two, SMG2)上就提出了ODMA的概念,并于1999年12月正式发布了关于ODMA的3GPPTR25.924建议规范。但是,由于控制方式较为复杂,以及考虑市场等其他原因,ODMA在第3代移动通信技术(the 3rd generation telecommunication)中被放弃了。然而,ODMA却引发了许多关于自组网与公共移动通信系统相结合的研究。

当前,自组网的另一个重要的发展方向就是传感器网络。传感器网络由大量小型、低成本的传感器节点组成,它们密集布设在观测场合,协同工作,自动探测观测对象的多种属性,并将探测结果传输上报。传感器网络中的传感器节点一般具备探测能力、无线通信自动组网能力和信号与信息处理能力。从通信的角度来讲,传感器网络属于一种特殊的自组网络。目前,针对传感器网络比较重要的研究项目都集中在美国,主要有SmartDust、NEST(network embedded system technology, 网络嵌入式系统技术)、uAMP、SCADDS(scalable coordination architecture for deeply distributed and dynamic system, 分布式动态系统可升级协调体系结构)等。

1.2 无线组网的分类

IEEE 802 下设工作组、研究组,分别就不同的技术领域进行研究,主要开发网络的物理层(physical layer, PHY)和媒体接入控制层(media access control, MAC)规范。在无线领域,IEEE 802 各个工作组进行了一系列相关标准的研究工作,它们分别是无线个域网(wireless personal area network, WPAN)——IEEE 802.15、无线局域网(wireless local area network, WLAN, 也称 WiFi)——IEEE 802.11、无线城域网(wireless metropolitan area network, WMAN)——IEEE 802.16、无线广域网(wireless wide area network, WWAN)——IEEE 802.20、无线区域网(wireless regional area network, WRAN)——IEEE 802.22, 以及无线自组织网络,具体介绍如下。

1.2.1 无线个域网

1. 无线个域网概述及其延伸

随着科学技术的不断发展,人们提出了在自身附近几米范围内通信的需求,这样就出

现了个人区域网络 (personal area network, PAN) 和无线个人区域网络的概念。WPAN 为近距离范围内的设备建立无线连接, 把几米 (一般为 10m 以内) 范围内的多个设备 (如电话、计算机、附属设备及小范围内的数字助理设备) 通过无线方式连接在一起, 使它们可以相互通信甚至接入局域网或互联网。

支持无线个人区域网的技术包括: 蓝牙、ZigBee、超频波段 (ultra wide bandwidth, UWB)、IrDA、HomeRF 等, 每一项技术只有被用于特定的用途、应用程序或领域才能发挥最佳的作用。此外, 虽然在某些方面, 有些技术认为是在无线个人区域网空间中相互竞争的, 但是它们常常相互之间又是互补的。

在 WPAN 的研究过程中, 又诞生了另一种无线个域网, 我们称为无线体域网 (wireless body area network, WBAN), 目前业界倾向于认为 WBAN 是 WPAN 的一种延伸。一般意义上的 WPAN 是指 PC、手机、媒体播放器、数码相机等这类与个人相关的各种通信设备之间的联网和通信, 而 WBAN 还扩展到了部署在人体表面和内部各类传感器, 以人体为中心, 由和人体相关的网络元素 (包括个人终端, 分布在人身体上、衣物上、人体周围一定距离范围如 2m 内甚至人身体内部的传感器、组网设备) 组成通信网络。通过 WBAN, 人可以和其身上携带的个人电子设备如手机等进行通信、数据同步等。通过 WBAN 和其他数据通信网络如其他人的 WBAN、无线/有线接入网络、移动通信网络等成为整个通信网络的一部分, 和网络上的任何终端如 PC、手机、电话机、媒体播放设备、数码相机、游戏机等进行通信。

2. 无线体域网的技术领域

WBAN 其实是一个交叉技术领域, 它和无线个域网 WPAN、WSN/USN (wireless sensor network/ubiquitous sensor network)、无线短距离通信、传感器技术等很多技术都有密切的关系, 如图 1.2.1 所示。

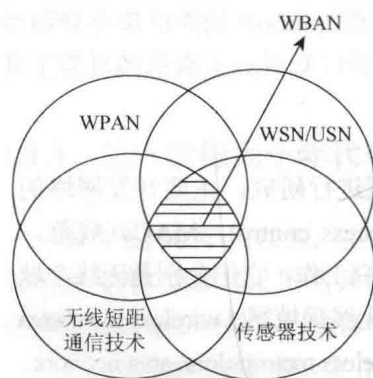


图 1.2.1 WBAN 相关网络的关系

WSN 目前的应用很广泛, 其中有一个非常重要的方面, 即远程医疗诊断和监护, 和 WBAN 密切相关。

泛在传感器网络 (USN) 其实是一种面向应用和业务的体系架构, 通过这种公共架构可以支持各种传感器网络和全 IP 的公共数据网络相互连通, 实现固定网络与移动网络融合 (fixed mobile convergence, FMC), 基于传感器数据提供各类业务和应用。目前, 国际电信联盟-电信标准局 (International Telecommunication Union-Telecommunication, ITU-T) 已经进入 USN 标准化研究的初始阶段。

短距离无线通信技术是传感器和终端设备之间以及短距离内终端与终端之间的主要通信方式, 常见的有 UWB、ZigBee 等。图 1.2.2 显示了关于 WBAN 的定位以及它和其他技术的关系。显然, 和其他的短距离无线通信技术相比, 在相同的功率下, WBAN 通信技术数据传输速率更高; 或者在相同的数据传输速率下, 需要的功率更低。因此相对来说, UWB 是一种更加合适的技术。目前研究的前沿领域是针对人体对于 UWB 频谱范围的电波的传播特性 (propagation characteristics), 优化接收机的结构和天线模式/结构。在 1.5~

8GHz 频谱内, 需要考虑电磁波的直接传输、表面波、反射和衍射, 问题是非常复杂的。而对于人体的建模和传播特性的测量也是一个相当困难的技术问题。

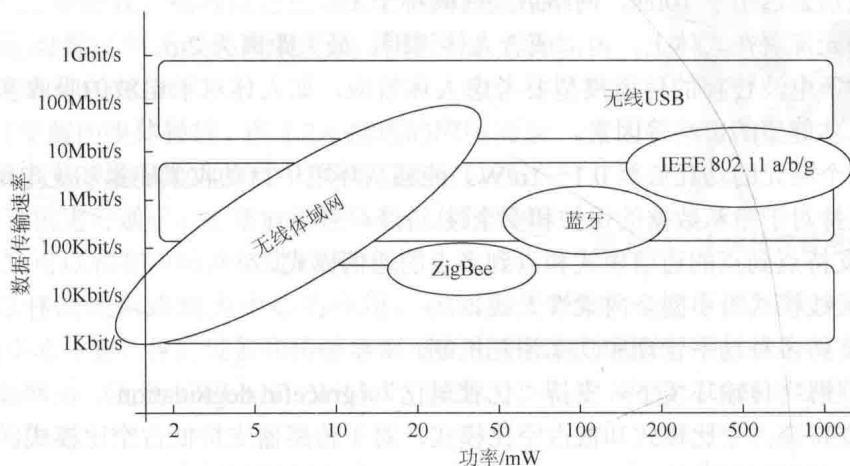


图 1.2.2 WBAN 定位与其他技术关系

传感器技术是 WBAN 的重要基础, 小型化、智能化、高精度、低功率的各类传感器是支持 WBAN 的必要条件。尤其是低功率, 对于植入人体内部的传感器来说是非常关键的性能。这些传感器只能靠电池来驱动, 有限的电池能量需要在相当长的传感器生命周期内支持传感器的正常工作。因此, WBAN 中的传感器, 有的具有从周边环境自动收集能量的能力, 如利用人体组织的热量转换电能等。

WBAN 是存在持续数据量的, 但是比特率比较低; WBAN 也需要支持动态的网络拓扑。WBAN 首先要追求的是能源的高利用率、网络的自主操作性和低廉的成本, 除此之外, 出于防干扰和保护人类健康的考虑, WBAN 还要求对电磁干扰具有良好的屏蔽能力。

3. 无线体域网的技术标准

针对 WBAN, 目前还没有特定的国际标准。国际上的标准组织, 如国际电气和电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE), 在积极推动 WBAN 和相关技术标准的制定。

实际上, 和 WBAN 相关, 或者更加广义地说和 WSN/USN 相关的国际标准组织有多个, 如 IEEE 和 ITU-T。目前 ITU-T 已经开始考虑 USN/WSN 方面的国际标准的制定。IEEE 则是直接开始着手 WBAN 标准的制定工作。

IEEE 下面的 802.15 工作组 (Working Group 802.15), 负责的标准领域是 WPAN, 因为 WBAN 被认为是 WPAN 的扩展和延伸, 因此 IEEE 目前把 WBAN 的标准工作也纳入 802.15 的范畴, 负责的组织称为 BAN 兴趣组 (interest group on BAN)。

这个 IEEE 的兴趣组目前已经初步形成了关于 WBAN 标准的需求。下面简要介绍这些需求中的要点。

(1) 在通信距离的考虑上, 要求一般的通信距离为 2m, 特殊应用可以达到 5m。

(2) 皮网 (piconet) 每平方的密度为 2~4 个。

- (3) 每个网络容纳的网元规模最多是 100 个。
- (4) 网络的最大吞吐量为 100Mbit。每 Mbit/s 流量的功耗是 1mW。
- (5) 通信延迟小于 10ms, 网络启动时间小于 1s。
- (6) 网元部署在人体上, 内部或者人体周围, 最大距离为 2m。
- (7) 对于电波传播的信道模型要考虑人体效应, 如人体对于电波的吸收和衰减以及电波对于人体健康的影响等因素。
- (8) 每个网元的功耗低至 0.1~1mW。能够从环境中自动收集能量和无电池运行。
- (9) 支持对于隐私数据的保护和安全性。
- (10) 支持点到点的通信模式和点到多点的通信模式。
- (11) 天线模式为小型全向柔性天线。
- (12) 支持多种功率管理和功率消耗机制。
- (13) 在恶劣传输环境下, 支持“优雅退化”(graceful degradation)。
- (14) 支持高占空比模式和低占空比模式, 对于传感器支持低占空比模式。
- (15) 支持不同等级的 QoS (Quality of Service, 服务质量)。
- (16) 支持非对称流量模式。
- (17) 对于 MAC 层和网络层协议要求优化、低复杂度。
- (18) 支持大量同时存在的微网。
- (19) 支持定位模式 (或称为“find me”模式)。

4. 无线体域网的技术应用

WBAN 在市场前景方面有着广泛的应用领域, 大规模的商业化可能在未来若干年内成为现实。在技术方面, 属于多个现有技术领域的交叉, 有很强的生命力和大量的研究及标准机会。WBAN 相关的国际标准处于初期阶段, 在网络架构、通信协议、功率管理、QoS 和安全等方面和其他无线通信标准将有很多差异之处。可以预测, 不久的将来, WBAN 的技术研究和标准化将成为业界关注的一个亮点。

WBAN 把人体变成通信网络的一部分, 从而真正实现网络的泛在化, 可穿戴的计算、无所不在的计算也将随着 WBAN 的普及应用成为人们日常生活的基本特征。WBAN 商用化的时代已经在悄悄到来。不久前美国和欧洲出现了这样一款很受时尚人士欢迎的无线运动鞋产品: 在特制的运动鞋中植入一个能够感知脚步运动的传感器 A, 在人的上臂上佩戴一个数据接收装置 B, 该装置可以和同样固定在上臂上的 iPod 媒体播放器 C 相连, A 把人运动的数据 (行进速度、步长、单位时间步数、距离等) 通过无线方式发送给 B, 然后 B 和 C 进行有线 (也可以是无线如蓝牙) 通信, C 接收到数据后可以计算和显示。到今天为止, 类似的产品越来越多, 如运动手环等。

从目前业界的研究来看, WBAN 的主要应用场景有如下几个。

(1) 人体传感器网络。人体传感器网络主要可用于患者的监护、生理参数的测量等, 其应用场景如图 1.2.3 所示。各种传感器可以把测量数据通过无线方式传送到专用的监护仪器或者各种通信终端上, 如 PC、手机等。目前研究认为, 人体表面或者内部可以部署 10~20 个各类传感器, 数据传输速率 < 10Kbit/s。