BLUETOOTH

超低功耗(ULP)蓝牙技术规范解析

CHAODI GONGHAO ULP LANYA JISHU GUIFAN JIEXI

金 纯 肖玲娜 罗 纬 聂增丽 编著

国防工业出版社
National Defense Industry Press

超低功耗(ULP)蓝牙技术规范解析

金 纯　肖玲娜　罗 纬　聂增丽　编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

超低功耗(ULP)蓝牙技术规范解析 / 金纯等编著.
—北京:国防工业出版社,2010.5
ISBN 978-7-118-06678-4

Ⅰ.①超... Ⅱ.①金... Ⅲ.①无线电通信-移动通信
-通信技术-规范 Ⅳ.①TN929.5-65 ②TN915.04-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 047347 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售
*
开本 710×960 1/16 印张 11½ 字数 200 千字
2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474
发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

前　言

标准蓝牙所能提供的5种核心价值包括:低成本、低功耗、短距离、全球标准化以及可靠性。在这些核心价值经历了时间考验并有所发展之后,就出现了Wibree技术。

2007年6月,Wibree技术被纳入蓝牙技术联盟(Special Interest Group,SIG),并更名为超低功耗(Ultra Low Power,ULP)蓝牙。这一新的低功耗无线技术可用于小型设备之间的简单数据传输,仅需一枚钮扣电池便可运行10年。这意味着该技术能够提供一种全新的蓝牙连接,可满足各种细分产品的需求,如手表、训练鞋、医疗传感器等,市场将会非常庞大。

目前的短距离无线通信技术有很多,如ZigBee、Wi-Fi等。2.4GHz短距离无线通信市场已经相当拥挤,但是还缺少一个为基于钮扣电池供电的小型低功耗应用而设计的开放标准,以推动数据流相对较低的简单无线网络技术的发展,其基本要求就是低成本、低功耗、简单易用。而无论是Wi-Fi,还是蓝牙,都离这个标准有一定的距离。蓝牙可以在不充电的情况下工作几周,根本无法工作几个月,更不用说几年。而Wi-Fi的功耗却更高。Wi-Fi是为快速传输大量数据而设计的,它无法满足相当一部分实用性无线网络在电池寿命、外形尺寸以及系统成本上的要求。至于ZigBee,虽然这种技术具有一定的功耗与成本优势,不过它瞄准的一向都是比PAN更大型的无线传感器网络(Wireless Sensor Network,WSN)。同时,由于ULP蓝牙技术本身比较简单,其与标准蓝牙的融合也不会增加成本。可以预计基于该技术的各种蓄势待发的应用使得它有一个广阔的发展前景。

ULP蓝牙技术的研究在国外、国内都处于起步的阶段,无论专业著作还是研究论文和研究成果都非常少。因此,作者参考国外有关ULP蓝牙技术的最新文献资料和技术规范,编写了本书,为需要和准备进行ULP蓝牙技术研究和开发的广大读者提供一个接触和深入掌握ULP蓝牙技术的参考工具。本书的目的

在于抛砖引玉，希望能对有兴趣学习和开发 ULP 蓝牙技术的同行们提供一本可供参考的专业书。

全书共分 8 章，第 1 章为短距离无线通信技术简介，介绍了网络体系结构中各层的总体概况；第 2 章介绍了 ULP 蓝牙系统体系结构；第 3 章介绍了 ULP 蓝牙物理层规范；第 4 章介绍了 ULP 蓝牙链路层规范；第 5 章介绍了 ULP 蓝牙主机控制接口（Host Controller Interface，HCI）规范；第 6 章介绍了 ULP 蓝牙的主机规范；第 7 章介绍了安全服务规范；第 8 章对 ULP 蓝牙的应用前景进行了展望，并对不同公司的 ULP 蓝牙产品和解决方案进行了介绍和说明。

全书由金纯、肖玲娜、罗纬、聂增丽负责各章节的编写工作。编写过程中，还得到了刘轶、万宝红、韩智斌、周晓军、辛赞洋、陈远燕、周科嘉等同志的协助。由于时间仓促，加之水平有限，书中的不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作　者

2010 年 2 月

目　录

第1章　短距离无线通信技术简介

随着网络及通信技术的飞速发展，无线通信在人们的生活中扮演着越来越重要的角色。短距离无线通信技术正在成为关注的焦点，也意味着个人区域网络的日渐成熟。短距离无线通信技术包括蓝牙、802.11（Wi-Fi）、ZigBee、超宽带（Ultra WideBand）、近距离无线通信（NFC）等，它们都有其立足的特点，或基于传输速度、距离、耗电量的特殊要求，或着眼于功能的扩充性，或符合某些单一应用的特别要求等，对现有的无线长距离通信技术（如GSM/GPRS、3G、卫星通信技术等）是一个良好的补充。

本章将从无线通信网络讲起，对相关的短距离无线通信技术做一个概括性的介绍，包括各种无线局域网（Wireless Local Area Network，WLAN）标准、蓝牙无线通信标准、移动Ad Hoc网络、UWB技术的基本背景和主要特点，使读者对短距离无线通信网络技术有一个全貌性的了解。

1.1　无线通信网络概述

信息革命到今天，人们越来越离不开通信网络，无论是信息共享、合作伙伴交流，还是移动用户办公，都有网络价值的体现。网络已经渗透到个人、企业以及运营商。现在的网络建设已经发展到无所不在，任何时间、任何地点都可以轻松上网。网络无所不在其实并不简单，光靠光纤、铜缆是不够的，毕竟在许多场合不适合铺设线缆。因此，需要一种新的解决方案使得网络的无所不在能够得以实现，这种解决方案就是无线通信技术。

无线网络由于无需借助电缆和光缆即可实现计算机之间的通信，因此，已经被广泛应用于无法铺设线缆、不便铺设线缆或需要频繁移动的场合。利用无线网络这一特点，也可以使用户迅速建立Internet连接。

无线网络不仅可以用于连接局域网，而且还可以直接连接到Internet，用户甚至可以借助Internet及其他公用通信网络建立自己的虚拟专网，实现网络之间的互连。无线网络可以提供的带宽高达11Mb/s，比ADSL还快，无疑是Internet宽带接入的又一理想选择。

无线网络标准采用 CSMA/CA(带有回避冲突的载波侦听多路存取)的 MAC 方式,同时 IEEE802.11 标准还提供漫游功能等多方面优势,允许 1 台客户机在多个无线子网中漫游,同时还可以在 1 个或多个不同的信道中工作,从而使得无线网络终端如同手机一样能在各网间漫游。为了能够实现多个供应商产品之间的漫游,多家公司合作开发了"接入点互连协议"(Inter Access Point Protocol, IAPP)规范,以实现多家产品的互通、互连、互相兼容,使得漫游能够在不同厂商提供产品的网络间平滑地实现。

1.1.1 无线通信网络的特点

下面将从传输方式、网络拓扑、网络接口 3 个方面来描述无线网的特点。

1. 传输方式

传输方式涉及无线网采用的传输媒体、选择的频段及调制方式。目前无线网采用的传输媒体主要有 2 种,即无线电波与红外线。在采用无线电波作为传输媒体的无线网根据调制方式不同,又可分为扩展频谱方式与窄带调制方式。

1)扩展频谱方式

在扩展频谱方式中,数据基带信号的频谱被扩展至几倍甚至几十倍后,再被搬移到射频发射出去。这一做法虽然牺牲了频带带宽,却提高了通信系统的抗干扰能力和安全性。由于单位频带内的功率降低,对其他电子设备的干扰也减小了。

采用扩展频谱方式的无线局域网一般选择所谓 ISM(Industrial Scientific Medical,工业,科学,医疗设备)频段,这里 ISM 分别取于 Industrial、Scientific 及 Medical 的第 1 个字母。许多工业、科研和医疗设备辐射的能量集中于该频段,例如美国 ISM 频段由 902MHz ~ 928MHz, 2.4GHz ~ 2.48GHz, 5.725GHz ~ 5.850GHz 3 个频段组成。如果发射功率及带宽辐射满足美国联邦通信委员会(Federal Communication Commission,FCC)的要求,则无需向 FCC 提出专门的申请即可使用 ISM 频段。

2)窄带调制方式

在窄带调制方式中,数据基带信号的频谱不做任何扩展即被直接搬移到射频发射出去。与扩展频谱方式相比,窄带调制方式占用频带少,频带利用率高。采用窄带调制方式的无线局域网一般选用专用频段,需要经过国家无线电管理部门的许可方可使用。当然,也可选用 ISM 频段,这样可免去向无线电管理委员会申请。但带来的问题是:当临近的仪器设备或通信设备也在使用这一频段时,会严重影响通信质量,通信的可靠性无法得到保障。

3)红外线方式

基于红外线的传输技术最近几年有了很大发展,目前广泛使用的家电遥控器几乎都是采用红外线传输技术。作为无线局域网的传输方式,红外线的最大优点是传输不受无线电干扰,且红外线的使用不受国家无线电管理委员会的限制。然而,红外线对非透明物体的透过性极差,这导致传输距离有限。

2. 网络拓扑

无线局域网的拓扑结构可归结为2类:无中心或对等式(Peer to Peer)拓扑和有中心(HUB-Based)拓扑。

1)无中心拓扑

无中心拓扑的网络要求网中任意2个站点均可直接通信。采用这种拓扑结构的网络一般是用公用广播信道,各站点都可竞争公用信道,而信道接入控制(MAC)协议大多采用CSMA(载波监测多址接入)类型的多址接入协议。

这种结构的优点是网络抗毁性好、建网容易,且费用较低。但当网络中用户数(站点数)过多时,信道竞争成为限制网络性能的要害,并且为了满足任意2个站点可直接通信,网络中站点布局受环境限制较大。因此,这种拓扑结构适用于用户相对较少的工作群网络规模。

2)有中心拓扑

在有中心网络拓扑结构中,要求一个无线站点充当中心站,所有站点对网络的访问均由其控制。这样,当网络业务量增大时,网络吞吐性能及网络时延性能的恶化并不剧烈。由于每个站点只需在中心站覆盖范围之内就可与其他站点通信,故网络中点站布局受环境限制亦小。此外,中心站为接入有线主干网提供了一个逻辑接入点。

有中心网络拓扑结构的弱点是抗毁性差,中心点的故障容易导致整个网络瘫痪,并且中心站点的引入增加了网络成本。

在实际应用中,无线网往往与有线主干网络结合起来使用。这时,中心站点充当无线网络与有线主干网络的转接器。

3. 网络接口

这涉及无线网络中站点从哪一层接入网络系统。一般来讲,网络接口可以选择在OSI参考模型的物理层或数据链路层。

所谓物理层接口指使用无线信道替代通常的有线信道,而物理层以上各层不变。这样做的最大优点是上层的网络操作系统及相应的驱动程序可不做任何修改。这种接口在使用时一般作为有线网络的集线器和无线转发器,以实现有线局域网间互连或扩大有线局域网的覆盖面积。另一种接口方法是从数据链路层接入网络。这种接口方法并不沿用有线局域网的MAC协议,而采用更适合无

线传输环境的 MAC 协议。在实现时，MAC 层及其以下各层对上层是透明的，配置相应的驱动程序来完成上层的接口，这样可保证现有的有线局域网操作系统或应用软件可在无线局域网上正常运转。

目前，大部分无线局域网厂商都采用数据链路层接口方法。

1.1.2 无线通信网络的种类

无线通信网络解决方案包括：无线个人网（Wireless Personal Area Nerwork，WPAN）、无线局域网、无线 LAN - to - LAN 网桥、无线城域网（Wireless Metropolitan Area Network，WMAN）和无线广域网（Wireless Wride Area Network，WWAN），如图 1.1 所示。

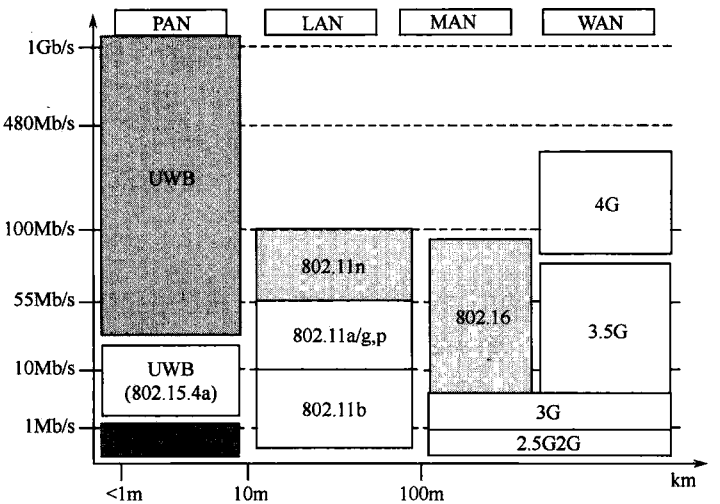

图 1.1 无线网络分类及其相关技术

无线个人网：是在个人周围空间形成的无线网络，现通常指覆盖范围在 10m 以内的短距离无线网络。主要用于个人用户工作空间，典型距离为覆盖几米，可以与计算机同步传输文件，访问本地外围设备，如打印机等。目前主要技术包括蓝牙（Bluetooth）和红外（IrDA）。

无线局域网：从广义上讲，凡是通过无线介质在一个区域范围内连接信息设备共同构成的网络都可以称之为无线局域网。主要用于宽带家庭、大楼内部以及园区内部，典型距离覆盖为几十米至上百米，目前主要技术为 802.11 系列。

无线城域网：实现整个城市范围的覆盖，为用户提供宽带的 Internet 接入。目前，WiMAX（World Interoperability for Microwave Access）技术是主要的无线城域网接入技术。

无线广域网：覆盖范围在几千米，目前的蜂窝网络，包括2G、3G以及3G增强型技术是实现广域覆盖的主要无线接入技术。各种无线接入技术定位不同，呈现出优势互补的特点，但也存在部分替代性，从而引发了不同阵营间的激烈竞争。相关标准组织及技术联盟也在大力推进其发展，芯片厂商及设备商的参与使竞争更为激烈。

1.2 短距离无线通信网络的发展

近几年，以第3代移动通信技术（3G）为核心，全球范围内的无线通信技术发展每年都有新的进展，部分原来停留于技术层面的技术已经逐渐开始商用化，这些对于原有的以2G或2.5G为核心的无线通信技术对市场产生了重要的影响，正在推动全球无线通信向着以3G为核心的新技术与市场体系演变。由此带来电信运营服务提供商、电信设备商以及信息内容提供商等围绕着新技术的新一轮投资热潮，新的商业模式和服务方式虽然还未完全成形，但已经开始形成一定的影响力。在某些国家或组织，第4代通信系统（4G系统）的研发也已经在积极地开展。随着计算机网络及通信技术的飞速发展，人们对无线通信的要求越来越高，在同一幢楼内或在相距咫尺的地方同样也需要无线通信。因此，短距离无线通信技术应运而生。短距离无线通信技术可以满足人们对低价位、低功耗、可替代电缆的无线数据网络和话音链路的需求。这种短距离的无线通信作为未来通信系统的重要组成部分，其应用也渗透到了个人网、局域网、广域网等多个领域。

在各种无线短距离通信技术迅速发展的今天，网络的融合也是大势所趋，未来的无线通信网络将是一个综合的一体化的解决方案。各种无线通信技术都将在这个一体化的网络中发挥自己的作用，找到自己的位置。从大范围公众移动通信来看，3G或超3G技术将是主导，从而形成对全球的广泛无缝覆盖；而WLAN、ZigBee、UWB等短距离无线通信技术将因自己不同的技术特点，在不同覆盖范围或应用区域内与公众移动通信网络形成有效互补。更远的未来，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宽带、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NGN平台的延伸部分，从而形成集固定无线手段于一体，各种接入方式综合发挥效用，各种业务形成全网络配置的一体化综合网络[1]。无线通信技术的演进过程如图1.2所示。

短距离无线通信网络的通信距离短，较之长距离无线通信网络技术，短距离

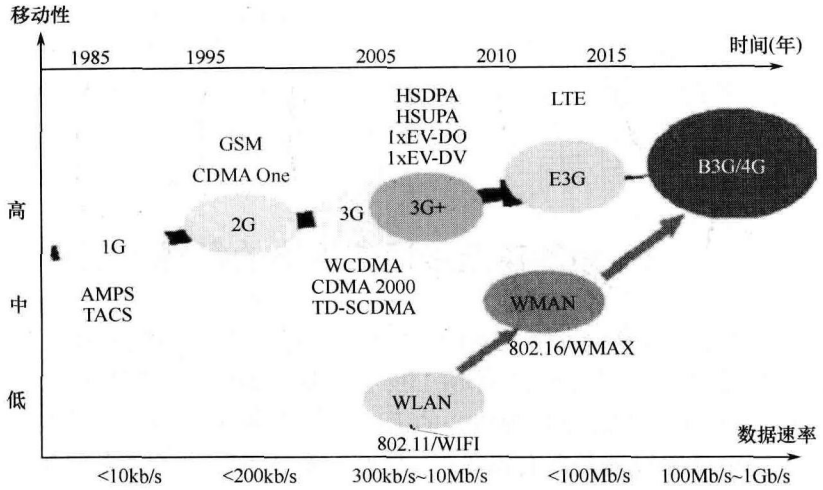

图 1.2　无线通信技术的演进

无线通信网络技术以牺牲通信距离为代价，为用户提供更高的数据传输速率、更低的成本和更大的服务范围。一般来说，称几十米或 100m 内的通信距离为短距离的通信范围。实际上，短距离无线通信系统的通信距离并不是一个固定的值，学术界对此并没有严格的定义。图 1.3 为通信距离与通信网络技术的示意图。

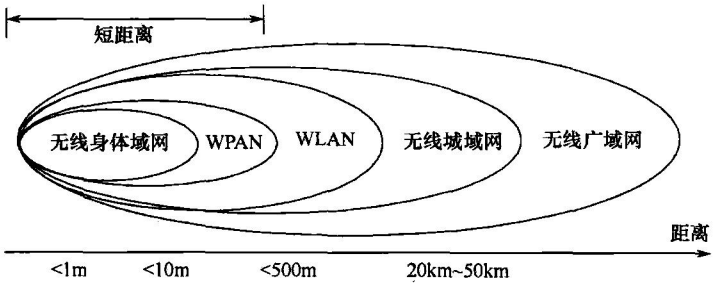

图 1.3　通信距离与通信网络技术的关系

短距离无线通信的历史并不短，但直到近 10 年才发展到标准级的网络技术。典型的短距离无线系统由一个无线发射器（包括数据源、调制器、RF 源、RF 功率放大器、天线、电源）和一个无线接收器（包括数据接收电路、RF 解调器、译码器、RF 低噪声放大器、天线、电源）组成。随着无线通信的发展，网络化、标准化要求逐渐出现在人们的面前。因此，各种无线网络技术标准纷纷被制定出来。表 1.1 列出了几种主要标准的发展时间及主要特点。