

BLE

低功耗蓝牙

技术开发指南



金纯 李娅萍 曾伟 马金辉 岳宗田 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

BLE 低功耗蓝牙技术开发指南

金 纯 李娅萍 曾 伟 马金辉 岳宗田 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了蓝牙技术的发展历史,重点讲述了低功耗蓝牙的协议规范及其工作原理,包括系统体系结构、物理层及链路层规范、主机接口及主机规范、逻辑链路控制和适配协议、安全服务规范、属性及通用属性协议、通用接入规范、基于 GATT 的应用规范,最后介绍了一些应用实例与前景。

本书适用于 BLE 蓝牙技术的研究人员、开发人员、软硬件工程师、架构师及项目和商业管理者;高等院校相关专业(电子、通信、自动控制等相关专业)的大学本科、研究生以及教师。

图书在版编目(CIP)数据

BLE 低功耗蓝牙技术开发指南 / 金纯等编著. —北京:国防工业出版社,2016. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 10478 - 3

I. ①B... II. ①金... III. ①短距离 - 无线电通信 - 移动通信 - 通信技术 - 指南 IV. ①TN929.5 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 316761 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)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 12¼ 字数 295 千字

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 79.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

蓝牙技术已经遍及现实生活中的各个领域,几乎所有的手机和便携式计算机都使用这项技术。低功耗蓝牙(BLE)将在某些领域进一步促进蓝牙技术的发展,实现更大规模的应用。例如,一些需要经常频繁地更换电池的产品,可以采用低功耗蓝牙替代。当功耗和成本成为主要约束的情况下,较高的功耗使产品不能使用功率极小的钮扣电池,而越来越多的产品要求装置和设备之间要能够实现无线协作,并以极低的功率进行。

低功耗蓝牙技术继承了经典蓝牙的许多特性,包括原有协议栈的基本架构。为了保证低功耗,低功耗蓝牙技术将传输速率降至 100bit/s 以下,而且原有的音频、视频传输等协议也未作保留。但可喜的是,一个主设备可以链接许多从属设备,且链接的建立非常迅速。因为一个低功耗蓝牙设备绝大部分的时间处于休眠状态,信息传输在极短时间内进行,平均功耗显著降低。

本书共 12 章,对 BLE 的功能、协议栈及其上层应用进行了详细的介绍。大体上来讲,本书共分为以下 4 个部分。

第 1 部分即第 1 章,以传统蓝牙技术及其技术背景为起点,介绍了低功耗蓝牙及其他短距离无线传输技术,如 ZigBee、IrDA 等。在对低功耗蓝牙进行介绍时,对其技术价值及前景也做了阐述,使读者可以更加全面地了解低功耗蓝牙技术的相关知识。

第 2 部分为第 2 章~第 4 章,介绍了低功耗蓝牙的物理层、链路层及主机接口规范。BLE 的物理层和链路层组成了协议栈的控制器部分,这一部分主要是从物理层面上对其进行了结构化的分析介绍,并从硬件的角度解释了低功耗蓝牙是如何做到降低功耗的。

第 3 部分为第 5 章~第 11 章,主要介绍了协议栈的上层部分,由逻辑链路控制和适配协议、安全服务规范、属性协议、通用属性协议、通用接入规范和基于通用属性协议的应用规范组成。本书不但详细介绍了这些上层协议的功能作用,还从结构上与传统蓝牙进行了对比,并进一步解释了低功耗蓝牙功耗得以降低的原因。此外,本书还对一些典型的基于通用属性协议 GATT 的应用规范进行了介绍,使读者可以更加全面地了解低功耗蓝牙的相关应用。

第 4 部分即第 12 章,主要对 BLE 技术及其芯片的应用进行了介绍,使读者可以了解到当今低功耗蓝牙市场的现状及其技术前景,为进一步开发蓝牙技术奠定了基础。

本书由金纯(教授)、李娅萍、曾伟、马金辉、岳宗田编著,感谢重庆市蓝牙无线技术研究所及重庆金瓯科技发展有限公司对编写本书的大力支持。由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不当之处,恳请广大读者及同行专家批评指正。

编者著
2015 年 10 月

目 录

第 1 章 低功耗蓝牙系统体系结构概述	1
1.1 概述.....	1
1.1.1 蓝牙通信技术.....	1
1.1.2 低功耗蓝牙技术.....	1
1.1.3 其他短距离无线通信技术及其对比	3
1.2 低功耗蓝牙技术的价值.....	6
1.2.1 低功耗蓝牙技术填补空白	6
1.2.2 “泛”链接性	6
1.3 BLE 蓝牙技术及其前景.....	7
1.4 体系结构.....	8
1.5 拓扑结构	10
1.6 工作状态和工作角色	11
1.7 设备分类	12
1.8 小结	12
第 2 章 物理层规范	13
2.1 概述	13
2.2 频带和信道分配	13
2.3 发射机特性	14
2.3.1 输出功率水平	14
2.3.2 调制特性	14
2.3.3 寄生辐射	15
2.3.4 射频容限	15
2.4 接收机特性	15
2.4.1 实际的灵敏度水平	15
2.4.2 干扰性能	16
2.4.3 带外阻塞	16
2.4.4 互调特性	16
2.4.5 最大有效电平	17
2.4.6 参考信号定义	17
2.5 小结	17
第 3 章 链路层规范	18
3.1 空中接口协议	18
3.1.1 低功耗蓝牙的地址	18

3.1.2	多址方案	18
3.1.3	帧间距	19
3.1.4	设备发现	19
3.1.5	链路层的链接配置	25
3.1.6	链路层链接过程	27
3.1.7	确认方案	33
3.1.8	定时要求	33
3.2	空中接口包的格式	33
3.2.1	位顺序	34
3.2.2	广播信道 PDU	34
3.2.3	数据信道 PDU	38
3.3	比特流的处理	43
3.3.1	CRC 多项式	43
3.3.2	数据白化	44
3.4	直接测试模块	44
3.4.1	概述	44
3.4.2	测试序列	44
3.4.3	发射机测试	45
3.4.4	接收机测试	45
3.4.5	UART 测试接口	45
3.5	小结	47
第 4 章	主机接口规范	48
4.1	概述	48
4.2	命令和事件概览	48
4.2.1	管理等级	48
4.2.2	测试	49
4.2.3	通用事件	49
4.3	主机控制接口的流控制	49
4.4	主机控制接口的数据格式	50
4.4.1	数据和参数格式	50
4.4.2	主机控制接口命令分组	50
4.4.3	主机控制接口数据分组	50
4.4.4	主机控制接口事件分组	50
4.5	主机控制接口命令和事件	51
4.5.1	管理等级命令	51
4.5.2	事件	65
4.5.3	数据等级	71
4.6	错误代码	71
4.7	小结	71

第 5 章	主机规范	72
5.1	概述	72
5.2	逻辑链路控制和适配协议	72
5.3	安全管理协议	73
5.4	属性协议	73
5.5	通用属性规范	74
5.6	通用接入规范	74
5.7	AMP 管理协议	75
5.8	小结	76
第 6 章	链路控制和适配协议	77
6.1	概述	77
6.2	协议数据单元和数据服务单元	77
6.3	最大传输单元	78
6.4	链路控制和适配协议特征	78
6.4.1	固定信道标识符	78
6.4.2	数据的分段和重组	79
6.4.3	复合信道	80
6.5	数据包	80
6.6	链路控制和适配协议参数	80
6.7	链路控制和适配协议信令	81
6.7.1	指令拒绝	82
6.7.2	链接参数更新请求	83
6.7.3	链接参数更新应答	83
6.8	小结	84
第 7 章	安全管理协议	85
7.1	概述	85
7.2	计数器的结构	86
7.3	ICV	86
7.4	密钥建立	87
7.5	密钥	87
7.5.1	概述	87
7.5.2	私有地址	89
7.6	生成私有地址	90
7.6.1	生成一个标准的私有地址	90
7.6.2	扩展匹配期间生成私有地址	90
7.6.3	解析私有地址	90
7.6.4	更改私有地址	91
7.6.5	创建私有	91
7.7	创建加密会话链接	91
7.7.1	广播设备创建加密会话链接	91

7.7.2	发起设备创建加密会话链接	92
7.7.3	密钥更新	94
7.8	配对和密钥交换	94
7.8.1	配对阶段一	95
7.8.2	配对阶段二	96
7.9	小结	98
第8章	属性协议	99
8.1	概述	99
8.2	属性	99
8.2.1	属性类型	99
8.2.2	属性句柄	99
8.2.3	属性许可	100
8.2.4	属性值	100
8.2.5	控制点属性	100
8.2.6	属性组句柄	101
8.2.7	原子操作	101
8.3	属性协议	101
8.3.1	属性协议数据单元格式	101
8.3.2	有序事务	102
8.4	方法	102
8.4.1	请求与响应类型方法	102
8.4.2	命令类型方法	108
8.4.3	通知类型方法	109
8.4.4	指示与确认类型方法	109
8.5	小结	109
第9章	通用属性协议	110
9.1	概述	110
9.1.1	配置文件依赖项	111
9.1.2	GATT 环境文件结构	111
9.2	角色	113
9.3	属性	113
9.3.1	属性缓存	115
9.3.2	属性分组	115
9.3.3	通知和指示	115
9.4	服务定义	115
9.4.1	服务声明	115
9.4.2	引用定义	116
9.4.3	特征定义	116
9.5	配置广播	120
9.6	GATT 功能	121

9.6.1	服务器配置	121
9.6.2	主要服务发现	122
9.6.3	关系发现	123
9.6.4	特征发现	124
9.6.5	特征描述符发现	126
9.6.6	读取特征值	126
9.6.7	特征值写入	128
9.6.8	特征值通知	131
9.6.9	特征值指示	132
9.6.10	特征描述符程序	132
9.7	超时设定	134
9.8	GATT 服务	134
9.9	安全性考虑	135
9.10	小结	135
第 10 章	通用接入规范	136
10.1	概述	136
10.2	角色	136
10.3	蓝牙参数概述	137
10.4	广播和扫描回复的数据格式	138
10.5	GAP 特征	139
10.6	操作模式和程序	140
10.6.1	广播模式和观察程序	141
10.6.2	发现模式和程序	141
10.6.3	链接模式和程序	143
10.6.4	绑定模式和程序	147
10.7	安全	148
10.8	小结	150
第 11 章	基于 GATT 的应用规范	151
11.1	概述	151
11.2	服务、特征、规范	151
11.3	即时警报服务	151
11.4	FindMe 规范	152
11.5	链路丢失服务	153
11.6	发射功率服务	153
11.7	近距离传感配置文件	154
11.8	电池服务	156
11.9	设备信息服务	156
11.10	当前时间服务	157
11.11	健康体温计服务	158
11.12	健康体温计规范	159

11.13	血压服务	161
11.14	血压规范	161
11.15	卫生、体育和健康规范	163
11.16	其他服务和规范	164
11.17	小结	164
第12章	低功耗蓝牙应用实例和应用前景	165
12.1	概述	165
12.2	低功耗蓝牙技术的特点	165
12.3	低功耗蓝牙技术的应用	166
12.3.1	运动安全	166
12.3.2	无线办公和移动附件	167
12.3.3	射频遥控器	167
12.3.4	医疗保健	168
12.3.5	Beacon	168
12.3.6	智能手环	169
12.3.7	智能手表	170
12.3.8	智能锁	171
12.3.9	智能插座	172
12.4	6LoWPAN 蓝牙 4.2 版本——CC2640/2650 芯片	173
12.4.1	背景	173
12.4.2	技术优势	173
12.5	Mesh——CSR1010 芯片	177
12.5.1	背景	177
12.5.2	技术优势	178
12.6	博通 WICED——BCM20706	180
12.6.1	背景	180
12.6.2	技术优势	181
12.7	Dialog——DA14580	181
12.7.1	背景	181
12.7.2	技术优势	182
12.8	小结	183
参考文献		184

第 1 章 低功耗蓝牙系统体系结构概述

1.1 概 述

1.1.1 蓝牙通信技术

蓝牙是一种短距离无线通信技术,能在包括移动电话、无线耳机和便携式计算机等相关设备之间进行无线信息交换。利用蓝牙技术,能够有效地简化移动通信终端设备之间的通信。“蓝牙”这个名字来源于 10 世纪丹麦国王哈拉尔蓝牙王(Harold Bluetooth)。在行业协会筹备阶段,该组织需要一个极具有表现力的名字来命名这项高新技术,行业组织人员在经过一夜关于欧洲历史和未来的无线技术发展的讨论后,认为用哈拉尔蓝牙王的名字命名再合适不过。蓝牙王将现在的挪威、瑞典和丹麦统一起来,就如同这项即将面世的技术一般,意指蓝牙也将把通信协议统一为全球标准。于是,“蓝牙”这个名字就被确定下来。

蓝牙最早是由瑞典爱立信公司于 1994 年开发的,其最初目的是用于替代各设备之间的串行数据电缆,以实现近距离的无线通信或操作。1998 年,爱立信公司联合英特尔、诺基亚、IBM 和东芝等公司创立了蓝牙特别兴趣小组(Bluetooth Special Interest Group, Bluetooth SIG)。这是一个私营化、非盈利的组织,成立目的在于发布蓝牙技术规范、认证及授权厂商使用蓝牙技术和商标,并向全世界推广蓝牙技术。此后,蓝牙特别兴趣小组相继发布了最初的两版技术规范,即基本速率(BR)和增强数据速率(EDR),其支持的最大数据速率分别达到了 721kb/s 和 2.1Mb/s。2009 年,蓝牙特别兴趣小组又发布了蓝牙技术规范的第 3 版即高速(HS)技术规范,使其最大数据速率达到了 24Mb/s。蓝牙可以在全球无需申请许可证的 2.4GHz ISM(工业、科技及医疗)频段上工作。当然,免申请意味着其他无线技术也一样能够使用这个波段,例如 WiFi 和 ZigBee。为了最大限度地减少与其他 2.4GHz ISM 频段无线电波的串扰,蓝牙采用了跳频(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)技术,即设备之间采用多个频率通信,某一时刻只能用一个频率,且各频率按照确定的顺序依次使用,每跳频为 1600 次/s。一般将蓝牙规范 1.0、2.0 和 3.0 下的 BR/EDR 蓝牙称为传统蓝牙,而将最新的蓝牙 4.0 规范下的 LE 蓝牙称为低功耗蓝牙。

1.1.2 低功耗蓝牙技术

低功耗蓝牙(Bluetooth Low Energy, BLE)技术是一种新型的超低功耗无线传输技术,拥有极低的运行和待机功耗,使用一粒纽扣电池即可连续工作数年之久,该技术主要是针对低成本、简易的无线体域网和无线个域网而设计的。

2006 年 10 月,芬兰诺基亚公司突然宣布推出一种全新的近距离无线通信技术——Wibree。这个名字读起来非常奇怪,很少有人知道为什么叫这样的名字,有好事者称 Wibree 应该是来自法国的一种奶酪的名字。2007 年 6 月,蓝牙特别兴趣小组与 Wibree 论坛突然宣布 Wibree 论坛将并入蓝牙特别兴趣小组,于是 Wibree 更名为超低功耗(Ultra Low Power, ULP)技

术,纳入蓝牙规范,作为传统蓝牙技术的补充,并制订了全球统一标准,以推动低功耗蓝牙技术。蓝牙特别兴趣小组是蓝牙技术的标准制定团体,Wibree论坛则是芬兰诺基亚公司领导的发展超低电力无线通信规格标准 Wibree 的团体。随着两团体的合并,Wibree 将作为蓝牙的超低功耗通信标准,重新被定义。Wibree 是用于手机间或者与其他设备间的近距离无线链接技术,链接距离在 1m 之内,速度 1Mb/s。从这一点来看,有点类似于蓝牙。但是,Wibree 创新性在于其更小的体积和更低的成本,最突出的还是其显著降低的功耗。2008 年中期,ULP 正式更名为低功耗蓝牙。低功耗蓝牙耗电量几乎是传统蓝牙的 1/10,一节纽扣电池就可以为其提供长时间供电,其主要的改变集中在以下 4 个方面。

(1) 传统蓝牙将频带划分为 79 个频道进行通信,其中有 32 个频道进行广播。而低功耗蓝牙将频带划分为 40 个频道,其中仅用 3 个频道进行广播,且每次广播时射频开启时间也从传统蓝牙的 22.5ms 减少为 0.6 ~ 1.2ms,大幅度降低了待机功耗。

(2) 低功耗蓝牙采用 3 个频道进行广播,设备链接时间可以控制在约 3ms 之内,而传统蓝牙因为有 79 个频道,设备链接时间最多可以到达 20ms。更少的链接时间意味着设备在进行链接、传输数据和切断链接操作的时间也会大大减少,因而其功耗也会相应地减少。

(3) 为了降低功耗,蓝牙规范 4.0 也相应地移除了一些相对繁琐的功能。

① 低功耗蓝牙不再强制要求同时安装发射机和接收机。低功耗蓝牙可以按照设计要求单独安装发射机或接收机,也可同时安装发射机和接收机。例如,安装有低功耗蓝牙的温度采集器可能只安装了发射机,用以向主设备发送温度数据。相比传统蓝牙而言,这样的设计不但缩小了蓝牙设备的体积,降低了成本,还达到了降低功耗的目的。

② 不支持音频信道。低功耗蓝牙可发送少量的数据,不支持发送音频数据流的蓝牙设备,例如蓝牙耳机等。因此,传统蓝牙的同步定向链接 SCO/eSCO 功能就被整体移除了。

③ 不支持分布式网络。低功耗蓝牙仅支持一微微网结构,而不再支持分布式网络。在传统蓝牙中,主设备最多可以和 7 个从设备进行通信;而在低功耗蓝牙中,主设备理论上可以和无数个从设备进行通信,但实际链接数量会受到主设备可链接资源数量的限制。

④ 不支持主设备和从设备之间的相互转换。在传统蓝牙中,主从设备可以按照指令相互转换自身角色。而在低功耗蓝牙中,一旦链接建立,主从设备的角色便已固定而不可转换。

⑤ 不支持呼吸模式(Sniff Mode)和休眠模式(Park Mode)。与传统蓝牙不同,低功耗蓝牙的链接持续时间非常短,一旦数据传输完毕,链接立刻断开。所以,低功耗蓝牙不再需要多余的降耗模式。

(4) 传统蓝牙的最大数据包长度为 1021b,而低功耗蓝牙的最大数据包长度仅为 27b,所以发送和接收这些数据包的时间会更短,功耗也会相应减少。

低功耗蓝牙作为一种新出现的技术,无论从它的应用领域、传输距离,又或是速率峰值等方面来说,低功耗蓝牙都与传统蓝牙有着众多的相同之处,同时它也有许多超越传统蓝牙的地方。这是否意味着在不久的将来低功耗蓝牙会取代传统蓝牙技术呢?诺基亚技术许可颁发部的负责人 Harri Tulimaa 坚持说低功耗蓝牙是传统蓝牙的延伸和补充,“它是对低功耗、小型设备的优化,并不能取代传统蓝牙”。许多基于专利技术的小型设备、低功耗解决方案局限于链接的形式,并没有统一的全球标准。Tulimaa 不确定低功耗蓝牙是否将对 NFC 或 ZigBee 产生很大的影响,因为它们不打算显示同样使用的情况。Tulimaa 还说:“低功耗蓝牙不会使任何东西突然消失,它将是一场安静的革命。”低功耗蓝牙技术纳入蓝牙规范以后,必将凭借蓝牙的全球认知度及其丰富便捷的应用,广泛应用于无线通信市场。有理由相信,将来会有越来越

多的内置低功耗蓝牙设备进入人们的生活,并将极大地改善运动、保健、医疗和娱乐的方式和体验。

低功耗蓝牙与传统蓝牙相比,为了达到降低功耗的目的,无论是硬件还是协议栈都有很大的改变,如表 1.1 所列的就是传统蓝牙与低功耗蓝牙相关参数的对比情况。

表 1.1 传统蓝牙与低功耗蓝牙相关参数的对比情况

参数类型	传统蓝牙	低功耗蓝牙
波段	2.4GHz ISM 波段	2.4GHz ISM 波段
跳频	70 个信道,单个带宽 1MHz	40 个信道,单个带宽 2MHz
调制方式	GFSK	GFSK
最大数据速率	721.2kb/s(BR) 2.1Mb/s(EDR) 24Mb/s(HS)	305kb/s(LE)
通信距离	10 ~ 100m	30 ~ 100m
发射功率	0 ~ 20dBm	-20 ~ 10dBm
链接时间	20ms	3ms
最大包长度	1021b	27b
主从设备转换	支持	不支持
分布式网络	支持	不支持
PDU 格式	多个	单个
CRC 长度	16b	24b

1.1.3 其他短距离无线通信技术及其对比

随着人们对通信技术的要求日益提高,短距离无线通信技术也随之而生。如今,各种短距离无线传输技术层出不穷,除了蓝牙技术之外,还有 ZigBee、WiFi、WiMAX、无线 USB、UWB 等无线通信技术。这里对几种主要的短距离无线通信技术及其应用做简要的介绍。

1. IrDA

IrDA,即红外通信技术,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 115.2kb/s 逐步发展到 4Mb/s、16Mb/s。目前,相关的软硬件技术都很成熟,在小型移动设备如 PDA 或手机上已广泛使用。它具备移动通信中所需的体积小、功耗低、链接方便、简单易用及成本低廉等特点。IrDA 用于工业网络上的最大问题在于只能在两台设备之间链接,并且存在着视距角度等问题。

红外通信是用来取代点对点的线缆链接,且新的通信标准兼容早期的通信标准。该技术在较小角度(30°锥角以内)、短距离、点对点的直线数据传输上具有保密性强的特点,且传输速率较高。目前,4Mb/s 速率的 FIR 技术已广泛使用,16Mb/s 速率的 VFIR 技术也已经发布。

红外通信技术的主要应用是设备互联和信息网关。设备互联可完成不同设备内文件与信息的交换。信息网关负责链接信息终端和互联网。红外通信技术已被全球范围内的众多软硬件厂商所支持和采用,目前主流的软件和硬件平台均提供对它的支持,且已广泛应用在移动计算和移动通信的设备中。

2. WiFi

无线保真(Wireless Fidelity, WiFi)是无线局域网(WLAN)的一种,通常是指

IEEE802.11b,是利用无线接入手段的新型局域网解决方案。WiFi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,因此具有良好的发展前景。IEEE802.11b工作频段为2.4GHz的ISM自由频段,采用直接序列扩频技术,理论上可以达到1.1Mb/s的速率。由于其优异的带宽是以大的功耗为代价的,因此大多数便携WiFi装置都需要常规充电,这也就限制了它在工业场合的推广和应用。

3. ZigBee

ZigBee是一种短距离、低功耗的无线通信技术,其特点是近距离、低复杂度、低功耗、低数据传输速率、低成本、网络容量大、时延短等。有效覆盖范围为10~75m之间,工作频段为2.4GHz、868MHz(欧洲)及915MHz(美国),均为免执照频段。ZigBee主要适于自动控制和远程控制领域,可以嵌入在各种设备中,同时支持地理定位功能。ZigBee技术的应用范围非常广泛,包括智能建筑、军事装备、工业自动化、医疗设备、智能家居及各种监察系统等。

4. RFID

射频标识(Radio Frequency Identification,RFID)是一种非接触式的自动识别技术,通过射频(RF)信号自动识别目标对象并获取相关数据。射频专指具有一定波长、可用于无线电通信的电磁波。

1948年,RFID技术的理论基础得以奠定。1991年后,RFID技术标准化的问题得到重视,RFID产品得到广泛采用,现已成为人们生活中的一部分。其产品的种类十分丰富,有源电子标签、无源电子标签及半无源电子标签均得到发展,电子标签成本不断降低,规模应用不断扩大。现在,RFID技术的理论得到进一步的丰富和完善,单芯片电子标签、多电子标签识读、无线可读可写、无源电子标签的远距离识别、适应高速移动物体的RFID正在成为现实。

目前美国、英国、德国、瑞典、瑞士、日本、南非均有较为成熟且先进的RFID系统。其中:低频近距离RFID系统主要集中在125kHz、13.56MHz频段上;高频远距离RFID系统主要集中在UHF频段(902~928MHz)915MHz、2.45GHz、5.8GHz。UHF频段的远距离RFID系统在北美得到了很好的发展,有源2.45GHz系统在欧洲得到了较多的应用,5.8GHz系统在日本和欧洲均有较为成熟的应用。

射频识别的突出优点体现在如下几个方面:

- (1) 无接触识别,阅读距离远;
- (2) 识别速度快;
- (3) 适应物体高速度移动;
- (4) 能穿过布、皮、木等材料阅读;
- (5) 抗恶劣环境能力强,可全天候工作。

5. HomeRF

HomeRF技术是IEEE802.11与DECT的结合,使用开放的2.4GHz频段。采用跳频扩频(FHSS)技术,跳频速率为50跳/s,共有75个带宽为1MHz的跳频信道。调制方式为恒定包络的FSK调制,分为2FSK与4FSK两种(采用调频调制可以有效地抑制无线环境下的干扰和衰落)。2FSK方式下,最大数据的传输速率为1Mb/s;4FSK方式下,速率可达2Mb/s。在新的HomeRF 2.x标准中,采用了宽带跳频(Wide Band Frequency Hopping,WBFH)技术来增加跳频带宽,由原来的1MHz跳频信道增加到3MHz、5MHz,跳频的速率也增加到75跳/s,数据峰值达到10Mb/s。

HomeRF提供了对多媒体真正意义上的支持。由于多媒体规定了高级别的优先权,并采用了带有优先权的重发机制,这样就确保了实时播放多媒体所需的带宽、低干扰和低误码。

HomeRF 把共享无线接入协议 (SWAP) 作为未来家庭联网的技术指标, 基于该协议的网络是对等网, 因此该协议主要针对家庭无线局域网。其数据通信采用简化的 IEEE802. 11 协议标准, 沿用类似于以太网技术的冲突检测的载波监听多址技术 (CSMA/CD); 语音通信采用 DECT 标准, 使用 TDMA 时分多址技术。

6. IEEE802. 11 系列

IEEE802. 11 系列标准在不断地向前发展, 短短的 5 年时间就已经有多个版本的标准诞生。1997 年 6 月, 第一个无线局域网标准 IEEE802. 11 正式颁布实施, 为无线局域网技术提供了统一的标准, 有力推动了该市场的快速发展。其传输速率只有 1 ~ 2Mb/s。随着网络应用中视频、语音等关键数据传输需求的增加, 用户对网络带宽的需求也越来越高, IEEE802. 11b、IEEE802. 11a 等标准相继诞生。2001 年, 融合了 IEEE802. 11b、IEEE802. 11a 两种标准特性的混合型标准——IEEE802. 11g 标准列入了 IEEE 讨论的议程。而业界著名的数字信号处理芯片厂商 TI (德州仪器公司) 等提出了 IEEE802. 11b 增强型标准——IEEE802. 11b + 也开始崭露头角, 它可以兼容 IEEE802. 11b 标准, 而速度则提高到了 22Mb/s。DLink (友讯网络) 公司迅速跟进, 推出了名为 AirPlus 的无线系列产品, 受到了用户的欢迎。

目前, 2. 4GHz 短距离无线通信市场已经相当拥挤, ZigBee 与 WiFi 都是蓝牙强有力的竞争者, 但诺基亚需要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, 以推动基于低数据流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 WiFi、ZigBee, 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, 却根本无法工作几个月, 更不用说几年。而 WiFi 的功耗却非常高。WiFi 是为快速传输大量数据而设计的, 它无法满足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。虽然 ZigBee 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 (WSN)。蓝牙的推动者们希望能够覆盖尽可能多的领域, 这导致了一些技术上的妥协, 特别是相对复杂的协议栈以及较高的功耗和成本。蓝牙更适合 PDA、手机以及便携式计算机等大型 PAN 设备之间的快速数据传输。此外, 厂商需要向蓝牙缴纳一定的专利费用。这些缺点对于低功耗蓝牙技术来说都不存在。表 1. 2 列出了 7 种短距离通信技术的具体参数。

表 1. 2 7 种短距离无线通信技术的具体参数

种类	ZigBee	传统蓝牙	WiFi	红外	RFID	低功耗蓝牙	HomeRF
单点覆盖距离	50 ~ 300m	10 ~ 100m	50m	5m	1 ~ 10m	30 ~ 100m	50m
网络扩展性	自动扩展	无	无	无	无	无	有
最大功耗	1 ~ 3mW	1 ~ 100mW	100mW	10mW	0	0. 01 ~ 10mW	50mW
复杂性	简单	复杂	非常复杂	简单	复杂	复杂	复杂
数据传输速率	250 kb/s	1 ~ 3Mb/s	1 ~ 11 Mb/s	1. 521Mb/s、4Mb/s、16Mb/s	0. 212 Mb/s	1Mb/s	1. 2Mb/s
频段	868MHz ~ 2. 4GHz	2. 4GHz	2. 4GHz	820nm	5. 8GHz	2. 4GHz	2. 4GHz
网络节点数	65000	8	50	无	无	无限	127
联网所需时间	30ms	高达 10s	3s	毫秒级	毫秒	3ms	1. 28s
终端设备费用	低	低	高	较低	低	低	一般
安全性	128b AES	64b, 128b	SSID	小角度	密钥	128b	50 次/s 跳频

种类	ZigBee	传统蓝牙	WiFi	红外	RFID	低功耗蓝牙	HomeRF
集成度和可靠性	高	高	一般	一般	一般	高	一般
使用成本	低	低	一般	低	低	低	一般
安装使用难易	非常简单	一般	难	简单	简单	一般	一般

1.2 低功耗蓝牙技术的价值

在短距离低功率无线领域,传统蓝牙技术的地位似乎已经不容置疑。但在功耗和成本成为主要约束的情况下,其应用就受到了限制,较高的功耗使其应用不能使用功率极小的钮扣电池。此外,越来越多的产品要求装置和设备之间能够实现无线协作,对于现行的蓝牙技术来说只是一个梦想。

1.2.1 低功耗蓝牙技术填补空白

在低功耗蓝牙无线技术成为新的希望之前,设计工程师面对着扑朔迷离的各种选择,如 WiMAX (IEEE802.16d)、WiFi (IEEE802.11b/g/n)、蓝牙 (IEEE802.11.15.1)、ZigBee (IEEE802.15.4)。不同的技术似乎覆盖了整个无线通信领域,包括从远距离、高带宽一直到短距离、低功耗(适合电池供电的便携式装置使用)。但是,许多工程师意识到需要另外一种无线射频技术,在小型个人便携式产品之间协作,而且耗电量极小,电池的寿命能够达到数月甚至一年。

由于缺乏这样一个开放的标准,在消费类应用系统领域留下了一个利润丰厚的市场,它需要专门的解决方案来填补超低功耗(在发射或接收时低于 15mA 且平均电流在微安的范围)短距离(数十米)无线链接的空白。

专有解决方案都具有高带宽、抗干扰、价格、电池寿命等令人羡慕的特点。例如,Nordic Semiconductor 的 nRF24xxx 系列 2.4GHz 收发器在全球数以百万计的无线鼠标器、键盘、保健传感器和运动手表中应用得非常成功,其中:nRF24101 收发器在发射或接收功率为 0dBm、速度为 2Mb/s 时,消耗电流约 12mA;把 Nordic 的 nRF2601 无线桌面协议(WDP)用在无线鼠标器中时,正常使用的情况下两节 AA 电池的寿命约为一年,相比之下,使用蓝牙的同类鼠标器寿命仅为一个月。

专有解决方案的产品的缺点是彼此之间不能协作。点到点链接的终端产品制造商主要通过专有解决方案的优异性价比获利,而几乎都不关心这个问题。但一些想以无线方式和其他公司产品链接起来,或想使用其他的收发器的制造商,就不能采用专有解决方案。而这些公司正是蓝牙低功耗无线技术所针对的客户。

1.2.2 “泛”链接性

有人说,开放标准增加了繁琐的官僚作风、扼杀了创新,但是如果没有 1998 年成立的非营利组织,即蓝牙特别兴趣小组,蓝牙技术不会像现在这样蓬勃发展。在最初几年,只有为数不多的赞助者大量地投资到技术规范的制订、市场宣传和推广上,而且没有人能保证它一定成功。此外,由于得到的支持有限,有些公司可能望而却步,因为害怕过时而不会纳入自己的产品中。蓝牙作为一个开放标准,鼓励半导体厂商之间进行良性竞争,促成了一系列相互竞争却

能够协同运作的产品和服务。也正是蓝牙特别兴趣小组培育了新兴的 Wibree 技术,将其作为低功耗无线技术纳入蓝牙技术规范。

最初,诺基亚公司只想 Wibree 与蓝牙特别兴趣小组能很好地相处,以手机作为无线 PAN 的中心,协调无线外围设备一起工作。而目前,几乎所有的移动电话都安装了蓝牙芯片,能够很容易地与其他蓝牙设备进行无线通信。此时,蓝牙特别兴趣小组已经认识到,如果这个通信功能可以延伸到安装了低功耗无线链接的传感器或者其他装置,如装有心率传感器和脚步加速度传感器的智能型运动手表、具有远距离射频控制功能的装置、保健传感器等,这样的应用将是无止境的,这就是“泛”链接性。

目前的传统蓝牙是做不到这样的“泛”链接性的,因为用于移动电话的任何外围设备体积必须很小、重量轻,并要用钮扣电池来供电。手机制造商也并不想在移动电话中另外增加射频装置。但是如果无线手机外围设备使用低功耗蓝牙,而且在手机上配备了经过适当修改的蓝牙芯片,加入低功耗的功能,这一切将很容易实现。

1.3 BLE 蓝牙技术及其前景

近年来,随着物联网产业的兴起,无线传感器网络技术以及蓝牙无线通信技术为物联网的实现提供了可能。关于物联网概念的提出,国内外普遍公认的是 Ashton 教授于 1999 年在研究射频识别 RFID 时最早提出来的,而在 2005 年国际电信联盟 (ITU) 发布的同名报告中,物联网的定义已经发生了变化,覆盖范围也有了较大的拓展,不再只是指基于 RFID 技术的物联网。从 IBM 的智慧地球到思科的万物互联,物与物之间的互通之路日趋清晰。在物联网的发展过程中,无线技术已是不可缺少的沟通媒介。而蓝牙技术的应用,也成为了物联网的发展与产业化的催化剂。

低功耗蓝牙是一个很有前途的技术。与现有的传统蓝牙技术相比,低功耗蓝牙有自己的优势:①低功耗蓝牙采用具有低耗电监听 (Sniff Sub - Rating, SSR) 功能的搜索模式。传统蓝牙也会采用这种模式来实现低功耗运行,它们的区别在于低功耗蓝牙从链接一开始就采用这种模式。也就是说,每个低功耗蓝牙链接均自动处于 SSR 搜索模式,能自动以极低的功耗运行。低功耗蓝牙设备可采用现有的标准 CMOS 工艺技术制造,其时序要求不像传统蓝牙那样严格,因此成本较低。②低功耗蓝牙是一种真正的全球技术,在使用方面没有特殊的规定,也不存在限制性规则。③低功耗蓝牙的设计可靠。它采用了跳频技术,能从单频闭塞系统中恢复,并不受其他跳频器的干扰。

在应用方面,实现移动耳机和电话之间的链接是传统蓝牙的一种较为典型的应用。与低功耗蓝牙相比,这种应用要求具有较低的延时和较高带宽的链接。低功耗蓝牙旨在迅速高效地传输少量数据,仅需一枚纽扣电池便可运行 10 年,而传统蓝牙的设计目标是传输大量数据。这意味着该技术能够提供一种全新的蓝牙链接性,可满足各种领域的需求,如工业控制、消费电子、汽车自动化、农业自动化和医用设备控制等,市场将会非常庞大。

低功耗蓝牙技术的潜在用途十分广泛,未来将会有大量的市场需求。在众多细分市场中,有几个是全新的,例如,时尚区域网 (FAN)、机器对机器通信 (M2M) 和基于位置的服务 (LBS)。时尚区域网能够在人们的个人物品与移动电话之间创建链路,这些个人物品包括鞋子、外套、珠宝等。当接听放在背包底层的手机来电时,不用翻动背包,因为手机的数据已通过低功耗蓝牙自动传送到配饰上,它能显示呼叫方的信息,并允许通过蓝牙耳机来接听电话;