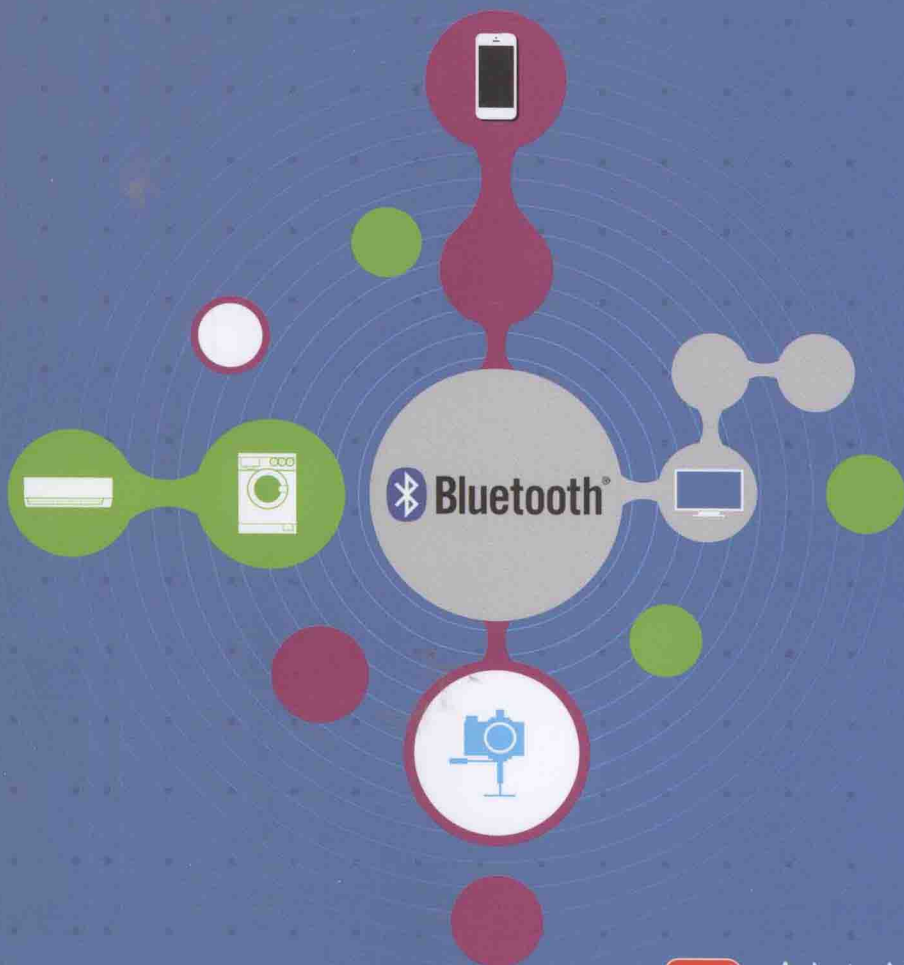


低功耗蓝牙/智能硬件技术丛书

# 低功耗蓝牙 开发与实战

谭 晖 编著



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

低功耗蓝牙/智能硬件技术丛书

# 低功耗蓝牙开发与实战

谭 晖 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书及相关实验系统针对日前发展迅速的智能硬件和移动物联两个主流方向,从低功耗蓝牙无线 SOC 开始入手,再进阶到低功耗蓝牙协议栈的开发、最后通过心率计、血压计、温湿度传感器和计步器等设备与手机互联的热门应用的实战演练,让开发者迅速熟悉和掌握低功耗蓝牙开发的技能。实验箱系统具备完整的教学资源和教学内容,包括:ARM Cortex-M0 微处理器基础实验,无线数据通信实验,低功耗蓝牙无线通信实验,WSN 低功耗蓝牙无线传感器,低功耗蓝牙血压计,低功耗蓝牙计步器,低功耗蓝牙心率计,以及 APP 开发等内容。

本书可作为高等院校物联网、计算机、电子、自动化、仪器仪表等专业嵌入式系统、微机接口、单片机、物联网技术等课程的教材,也适合广大从事物联网、智能硬件应用系统开发的工程技术人员作为学习、参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

低功耗蓝牙开发与实战 / 谭晖编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2015. 12  
ISBN 978-7-5124-1963-6

I. ①低… II. ①谭… III. ①短距离—无线电通信—移动通信—通信技术 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 285019 号

版权所有,侵权必究。

### 低功耗蓝牙开发与实战

谭 晖 编著

责任编辑 胡晓柏 苗长江

\*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

北京市同江印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1 000 1/16 印张:15.75 字数:336 千字

2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1963-6 定价:45.00 元

---

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

智能硬件、智能家居、物联网、移动物联大潮的到来,正在越来越多地改变我们身边的一切。我们看到智能手环、智能手表、智能插座、智能水杯、谷歌眼镜等,都是其中的形态和表现方式之一,其核心是通过软硬件结合的方式,使产品具备智能化的功能,并且具备与云端连接的能力。

本书总结智能硬件,移动物联开发的经验和积累,深切了解技术人员的关注点,贯穿硬件、软件、射频、APP 开发等诸多内容,帮助学生、开发者快速掌握相关技术入门及迭代,在移动物联,智能硬件的大潮中畅游,实现真正的开放教学,开放硬件设计、软件设计、协议栈等设计资源,关键技术、核心通信协议以设计原理图、源代码方式提供,直观地体会智能硬件和移动互联的应用场景,学习原理知识以及体验产品开发的过程,并将各版块的知识融会贯通,激发学生去学习、研究兴趣,深入到 SOC 芯片级开发及应用,实现学习+创新+开发的综合应用,达到素质培养及教育的效果。

本书相关实验系统针对目前发展迅速的智能硬件和移动物联两个主流方向,从低功耗蓝牙无线 SOC 开始入手,再进阶到低功耗蓝牙协议栈,最后通过心率计、血压计、温湿度传感器和计步器等设备与手机互联的热门应用的实战演练,让开发者迅速熟悉和掌握低功耗蓝牙开发的技能。实验箱系统具备完整的教学资源和教学内容,包括:ARM Cortex-M0 微处理器基础实验、无线数据通信实验、低功耗蓝牙无线通信实验、WSN 低功耗蓝牙无线传感器、低功耗蓝牙血压计、低功耗蓝牙计步器、低功耗蓝牙心率计以及 APP 开发等内容。

迅通科技研发团队在低功耗蓝牙技术领域的努力和付出奠定了本书的基础,他们的探索和经验可以帮助更多的人更快地进入这一领域,参与实验箱设计工作和资料整理工作的有王荣静、苏金飞、王友巍、杨锦朝、刘泽霖等人,全书由谭晖审定和统稿。由于编著者水平有限,加之时间仓促,错误及不足之处在所难免,恳请读者及专家指正。

谭 晖

2016 年 1 月

# 目 录

<b>第 1 章 蓝牙的发展历程</b> .....	1
1.1 什么是蓝牙及蓝牙联盟? .....	1
1.2 低功耗蓝牙技术(Bluetooth Low Energy)的发展 .....	2
1.2.1 低功耗蓝牙的诞生 .....	2
1.2.2 关于蓝牙 3.0 .....	4
1.2.3 关于蓝牙 4.0 .....	4
1.2.4 蓝牙 4.0 的双模式及单模式应用 .....	5
1.2.5 关于蓝牙 4.1 .....	7
1.2.6 关于蓝牙 4.2 .....	7
<b>第 2 章 低功耗蓝牙基础</b> .....	9
2.1 什么是低功耗? .....	9
2.2 低功耗蓝牙如何实现低功耗? .....	10
2.2.1 待机功耗的减少.....	10
2.2.2 快速连接的实现.....	10
2.2.3 峰值功耗的降低.....	11
2.2.4 以时间来换取能量.....	12
<b>第 3 章 实验平台硬件资源详解</b> .....	14
3.1 移动互联综合应用开发系统资源介绍.....	14
3.1.1 XT-EDU-AK 介绍 .....	15
3.1.2 XT-EDU-HK 介绍 .....	16
3.1.3 配套传感器模块和 OLED 屏介绍 .....	16
3.1.4 Debug 调试接口.....	18
3.2 部分硬件电路原理图详解.....	18

3.2.1	nRF51822 蓝牙模块电路 .....	18
3.2.2	XT-EDU-AK 主板 .....	19
3.3	归纳总结 .....	21
<b>第 4 章</b>	<b>开发环境的搭建 .....</b>	<b>22</b>
4.1	综合开发环境 nRFgo Studio 的使用 .....	22
4.2	主机软件 Master Control Panel 的使用 .....	25
4.3	Keil MDK 开发环境下的调试方法 .....	29
4.4	学习资料文档、工具介绍 .....	32
4.5	nRF51 Dongle 的使用 .....	32
4.5.1	与 Master Control Panel 配合,作为主机进行使用 .....	32
4.5.2	与 wireshark 配合,更新为 sniffer 的固件,作为抓包工具使用 .....	35
4.6	归纳总结 .....	44
<b>第 5 章</b>	<b>GPIO 的使用 .....</b>	<b>45</b>
5.1	GPIO 简介 .....	45
5.2	硬件设计 .....	49
5.3	软件设计 .....	50
5.3.1	跑马灯实验 .....	50
5.3.2	按键输入实验 .....	51
5.4	归纳总结 .....	53
<b>第 6 章</b>	<b>GPIOTE 的使用 .....</b>	<b>54</b>
6.1	GPIOTE 简介 .....	54
6.2	硬件设计 .....	56
6.3	软件设计 .....	57
6.4	归纳总结 .....	59
<b>第 7 章</b>	<b>玩转 SPI 主从 .....</b>	<b>60</b>
7.1	SPI 简介 .....	60
7.2	硬件设计 .....	62
7.3	软件设计 .....	63
7.4	归纳总结 .....	69
<b>第 8 章</b>	<b>有趣的 UART .....</b>	<b>70</b>
8.1	UART 简介 .....	70

8.2	硬件设计	74
8.3	软件设计	75
8.4	归纳总结	77
<b>第 9 章</b>	<b>TIMER 详解</b>	<b>78</b>
9.1	TIMER 简介	78
9.2	硬件设计	81
9.3	软件设计	82
9.4	归纳总结	84
<b>第 10 章</b>	<b>RTC 实时时钟定时器</b>	<b>85</b>
10.1	RTC 简介	85
10.1.1	计数器 COUNTER	86
10.1.2	分频器 PRESCALER	86
10.1.3	TICK 事件发生器	86
10.2	硬件设计	87
10.3	软件设计	88
10.3.1	LED 灯初始化	89
10.3.2	LFCLK 初始化	89
10.3.3	RTC 初始化	89
10.3.4	中断处理函数	90
10.4	归纳总结	91
<b>第 11 章</b>	<b>PPI 的应用之 PWM</b>	<b>92</b>
11.1	PWM 简介	92
11.2	硬件设计	94
11.3	软件设计	95
11.4	归纳总结	98
<b>第 12 章</b>	<b>ADC 实验与电压检测</b>	<b>99</b>
12.1	ADC 简介	99
12.2	硬件设计	101
12.3	软件设计	102
12.4	归纳总结	104

<b>第 13 章 TWI 的应用——温湿度采集</b> .....	105
13.1 TWI 简介 .....	105
13.2 硬件设计 .....	109
13.3 软件设计 .....	110
13.4 归纳总结 .....	115
<b>第 14 章 随机数发生器 RNG</b> .....	117
14.1 RNG 简介 .....	117
14.2 硬件设计 .....	118
14.3 软件设计 .....	118
14.4 归纳总结 .....	119
<b>第 15 章 AES 加密的使用</b> .....	120
15.1 AES ECB 简介 .....	120
15.2 硬件设计 .....	121
15.3 软件设计 .....	121
15.4 归纳总结 .....	123
<b>第 16 章 2.4G 无线通信实验</b> .....	124
16.1 2.4G 射频简介 .....	124
16.2 硬件设计 .....	133
16.3 软件设计 .....	133
16.4 归纳总结 .....	136
<b>第 17 章 Hello BLE</b> .....	137
17.1 低功耗蓝牙简介 .....	137
17.2 硬件设计 .....	140
17.3 软件设计 .....	140
17.4 归纳总结 .....	143
<b>第 18 章 低功耗处理</b> .....	144
18.1 BLE 低功耗处理简介 .....	144
18.1.1 电源管理的特点 .....	144
18.1.2 两种不同的电源模式比较 .....	144
18.1.3 外设模块启动后的功耗预估 .....	145



18.1.4 低功耗在软件中的设置	146
18.2 硬件设计	151
18.3 软件设计	151
18.4 归纳总结	152
<b>第 19 章 低功耗蓝牙协议栈下的 Flash 操作</b>	<b>157</b>
19.1 存储管理器(Persistent Storage Manager)简介	157
19.1.1 API 功能介绍	159
19.1.2 初始化	160
19.1.3 注册模块	160
19.1.4 获取指定 Block 的 Handle	161
19.1.5 读取 Flash 中的数据	161
19.1.6 存储数据	162
19.1.7 清除数据	163
19.1.8 更新数据	164
19.1.9 获取对 Flash 操作挂起的任务数量	165
19.2 硬件设计	166
19.3 软件设计	166
19.4 归纳总结	170
<b>第 20 章 OLED 显示屏应用</b>	<b>172</b>
20.1 OLED 显示屏简介	172
20.2 硬件设计	173
20.3 软件设计	174
20.4 归纳总结	180
<b>第 21 章 DFU 固件空中升级</b>	<b>182</b>
21.1 DFU 简介	182
21.2 硬件设计	186
21.3 软件设计	187
21.4 归纳总结	188
21.4.1 烧录固件到实验板	188
21.4.2 将 .axf 生成 .bin 文件	189
21.4.3 使用 zip 文件在手机进行 DFU	192

<b>第 22 章 低功耗蓝牙主机端应用</b> .....	194
22.1 低功耗蓝牙主机简介 .....	194
22.2 硬件设计 .....	196
22.3 软件设计 .....	197
22.4 归纳总结 .....	202
<b>第 23 章 低功耗蓝牙血压计</b> .....	204
23.1 低功耗蓝牙血压计简介 .....	204
23.2 硬件设计 .....	205
23.3 软件设计 .....	206
23.4 归纳总结 .....	211
<b>第 24 章 低功耗蓝牙温湿度计</b> .....	214
24.1 温湿度计简介 .....	214
24.2 硬件设计 .....	215
24.3 软件设计 .....	216
24.4 归纳总结 .....	220
<b>第 25 章 低功耗蓝牙计步器</b> .....	221
25.1 计步器简介 .....	221
25.2 硬件设计 .....	222
25.3 软件设计 .....	223
25.4 归纳总结 .....	230
<b>第 26 章 低功耗蓝牙心率计</b> .....	231
26.1 心率计简介 .....	231
26.2 硬件设计 .....	231
26.3 软件设计 .....	234
26.4 归纳总结 .....	238
<b>参考文献</b> .....	240

# 第 1 章

## 蓝牙的发展历程

2010 年蓝牙技术联盟发布了里程碑版本的蓝牙 4.0 技术规范,其中最具吸引力的就是低功耗蓝牙技术规范。与经典蓝牙相比,低功耗蓝牙不仅极大地降低了芯片的功耗,还以其连接的灵活性、良好的抗干扰性、简单的应用开发等特性,很快得到了智能手机及众多外设厂商的青睐。本章详细介绍蓝牙的发展历程。

### 本章学习目标:

1. 了解蓝牙的发展历程;
2. 了解低功耗蓝牙的特点及应用领域。

### 1.1 什么是蓝牙及蓝牙联盟?

1999 年 5 月 20 日,爱立信、国际商业机器、英特尔、诺基亚及东芝公司等业界龙头创立“蓝牙特别兴趣小组”(Special Interest Group, SIG),即蓝牙技术联盟的前身,目标是开发一个成本低、效益高、可以在短距离范围内随意无线连接的蓝牙技术标准,如图 1.1 所示。这项无线技术的名称取自古代丹麦维京国王 Harald Blåtand 的名字,他以统一了因宗教战争和领土争议而分裂的挪威与丹麦而闻名于世,而这个名字直接翻译成中文为“蓝牙”。



**'Everyone here? Good. Meeting topic: Setting world record for shortest meeting. All in favor say aye. Ayes have it. Meeting over.'**

图 1.1 蓝牙技术联盟

经过多年的发展,蓝牙已经成为一个广泛使用的国际标准,今天看到的几乎所有移动电话、平板电脑、笔记本都内置了蓝牙技术。

- 蓝牙联盟(Bluetooth SIG)不生产,或出售蓝牙产品;
- 蓝牙联盟(Bluetooth SIG)的主要任务是发布蓝牙规格;
- 资格管理,保护蓝牙商标,推广及传播蓝牙无线技术。来自联盟成员公司的

志愿者在蓝牙无线技术的发展中扮演重要的角色。

据统计,每周付运的蓝牙设备数量超过 1.9 亿部。

蓝牙联盟目前拥有超过 13 000 成员,其中亚太区成员占据相当大的比例,从表 1.1 中可以看到,中国地区的蓝牙成员是亚太区中最多的,这是因为众多蓝牙设备的生产商位于中国地区,这也说明蓝牙在中国有良好的发展基础和前景。

表 1.1 亚太地区蓝牙联盟会员分布情况

地 区	SIG 会员	地 区	SIG 会员
1 中国	1 299	9 马来西亚	78
2 台湾	879	10 新西兰	71
3 日本	844	11 泰国	43
4 韩国	791	12 越南	32
5 印度	643	13 菲律宾	29
6 香港	582	14 巴基斯坦	25
7 澳大利亚	304	15 印度尼西亚	22
8 新加坡	181	16 其他	16
Total		5 839	

## 1.2 低功耗蓝牙技术(Bluetooth Low Energy)的发展

### 1.2.1 低功耗蓝牙的诞生

蓝牙技术和产品已经广泛应用于消费电子领域,日常所使用的手机包括智能手机、功能手机都已内置蓝牙,但在大部分普通消费者的印象中,蓝牙依然是个颇为边缘化的概念:除了连接蓝牙耳机等功用,很少看到其他方面的应用,连传输文件等应用场景都已非常少见。

在低功耗蓝牙技术出现以前,不少运动健康类的产品使用传统蓝牙技术来实现,而蓝牙 2.1 或者 3.0 的耗电是个难以规避的问题,电池通常只能维持一天至数天的持续工作。特别对于那些采用纽扣电池供电的运动健康及可穿戴设备,尽管有很好的创意,但由于必须经常更换电池或充电,实际使用和用户体验均不理想,也使得我们很少看到传统蓝牙在这方面有成功的应用和体验。

与此同时,其他低功耗技术如 2.4 GHz 专有协议,ANT/ANT+ 协议在运动健康产品方面得到巨大的成功,如 NIKE 计步器、Garmin 的心率计、Sunto 的运动手表等。

正是由于看到了低功耗应用和市场的巨大潜力,2006 年,由 Nokia、Nordic Sem-

iconductor 和 Suunto 三家公司发起了致力于超低功耗应用的 Wibree 技术联盟,如图 1.2 所示,其目的就是开发与蓝牙互补的低功耗应用,并希望凭借低功耗的优势,在除了手机市场上的应用外,还在手表、无线 PC 外设、运动和医疗设备甚至儿童玩具上获得应用,如图 1.3 所示。



图 1.2 Wibree 技术联盟发起企业

这三家公司都是相关领域中的领先者: Nokia 当时在手机平台方面具有巨大的影响力; Nordic semiconductor 专于低功耗无线芯片设计; 而 Suunto 是专业的运动手表厂商。这三家企业形成了很好的应用基础和生态。

Wibree 的发展也引起了蓝牙联盟的关注,对于蓝牙联盟来说,已经认识到了低功耗应用的巨大潜力,也一直希望得到低功耗无线技术,因此,蓝牙联盟和 Wibree 双方最终走到了一起。Wibree 于 2007 年并入蓝牙联盟(Bluetooth SIG),作为蓝牙技术的扩展,Wibree 成为蓝牙规范组成部分之低功耗蓝牙,被称为“低功耗蓝牙技术”,提供和蓝牙个人网络(PAN)的连接功能,如图 1.4 所示。



图 1.3 Wibree 的应用场景

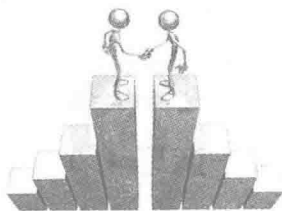


图 1.4 蓝牙联盟与 Wibree 合并

作为 Wibree 创建者之一的 Nordic Semiconductor 也凭借其实力及在技术上的建树,与也极为看好低功耗蓝牙技术的苹果公司同一天加入蓝牙联盟董事局,成为蓝牙董事局的 9 位成员之一,并担任了蓝牙联盟董事局主席,蓝牙联盟董事局成员见图 1.5。

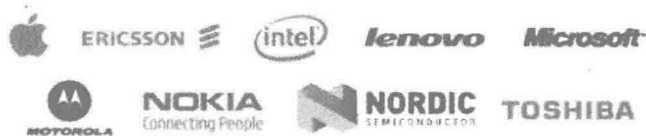


图 1.5 蓝牙联盟董事局组成

### 1.2.2 关于蓝牙 3.0

2009年4月21日,蓝牙技术联盟(Bluetooth SIG)正式颁布了规范“Bluetooth Core Specification Version 3.0 High Speed”(蓝牙核心规范 3.0 版高速),蓝牙 3.0 的核心是“Generic Alternate MAC/PHY”(AMP),这是一种全新的交替射频技术,允许蓝牙协议栈针对任一任务动态地选择正确射频。

蓝牙 3.0 的传输速度有了很大提高,而秘密就在 802.11 无线协议上。通过集成“802.11 PAL”(协议适应层),即可在需要的时候调用 802.11 Wi-Fi 用于实现高速数据传输,蓝牙 3.0 的数据传输率提高到了大约 24Mbps,可以用于高清电视、PC 至 PMP、UMPC 至打印机之间资料的高速传输。

Bluetooth 3.0 的核心技术是 Generic Alternate MAC/PHY (AMP),这是一个全新的交替射频技术,共允许蓝牙协议栈针对任何一个任务动态的选择正确的射频。Generic AMP 决定了蓝牙功能和协议,使之具有可以使用一个或多个交替高速广播技术的高码率的优势。

AMP 修改了标准蓝牙核心架构以便在 L2CAP 层下使用多重交替广播,同时使用标准蓝牙射频(标注基本码率(BR)和扩展码率(EDR)分别为 1 Mbps 和 3 Mbps)实现复原和连接以及匹配。

其通俗一点的原理是允许消费类设备使用已有的蓝牙技术,同时通过使用第二种无线技术来实现更快的吞吐量。蓝牙模块仅仅是用来创建两台设备之间配对,数据传输本身是通过 Wi-Fi 射频来完成,如果两部手机中有一部没有内建 Wi-Fi 模块的话,蓝牙传输的速度就会降到 Bluetooth 2.0 的速率。

### 1.2.3 关于蓝牙 4.0

2010年6月蓝牙联盟(Bluetooth Special Interest Group)正式发布蓝牙 4.0 规范。蓝牙 4.0 规范包含以下:

BLE 低功耗蓝牙(Bluetooth Low Energy),只能与 4.0 协议设备通信,适应低功耗且仅收发传输少量数据的设备(如智能传感器、可穿戴设备等);

BR/EDR 蓝牙(Basic Rate / Enhanced Data Rate),向下兼容(能与 2.1/2.0 通信),适应收发数据较多的设备(如耳机等);

HS 高速蓝牙(High Speed),向下兼容(能与 3.0 通信),适应需要高速数据传输

的设备(如图片、文件传输等)。

蓝牙 4.0 将 3 种蓝牙规格集于一体,包括传统蓝牙技术、高速蓝牙技术和低功耗蓝牙技术。其中意义最大的是低功耗蓝牙技术,拥有低功耗、3 ms 低延迟、AES-128 加密等特点,低功耗蓝牙技术极低的运行和待机功耗使得一个纽扣电池可连续工作一年之久,甚至更长。蓝牙规格及特性见表 1.2。

表 1.2 蓝牙规格说明

蓝牙规格	空中速率	调制方式	说明
BR (Basic Rate) 基础速率	1 Mbps	GFSK	向下兼容(能与 2.1/2.0 通信),适应收发数据较多的设备(如耳机等)
EDR (Enhanced Data Rate) 增强速率	2~3 Mbps a) 初级调制模式: 2 Mbps b) 二级调制模式: 3 Mbps	DPSK, QPSK	向下兼容(能与 2.1/2.0 通信),适应收发数据较多的设备(如耳机、立体声音箱等)
HS (High Speed) 高速	24 Mbps	802.11	向下兼容(能与 3.0 通信),适应收发数据较多的设备(如图片、文件传输等)
LE (Low Energy) 低功耗	1 Mbps	GFSK	BLE(Bluetooth low energy)只能与 4.0 协议设备通信,适应节能且仅收发少量数据的设备(如家用电子)

### 1.2.4 蓝牙 4.0 的双模式及单模式应用

Bluetooth 4.0 有双模和单模两种应用模式。

双模(dual-mode)应用中,蓝牙低功耗(BLE)功能集成在现有的传统蓝牙控制器中,或在现有传统蓝牙技术(2.1+EDR/3.0+HS)芯片上增加低功耗堆栈,对于蓝牙主芯片来说,整体架构基本不变,因此成本增加有限。双模设备包括智能手机、平板电脑、PC/笔记本电脑、智能电视等,这些设备在使用中充当中心。双模蓝牙设备上的蓝牙标识是“Bluetooth Smart Ready”,表示具备蓝牙 4.0 双模(Bluetooth v4.0 dual-mode)的智能设备,见图 1.6。



图 1.6 双模蓝牙设备及其标识

Bluetooth Smart Ready 设备应具备以下特性:  
必备:

## 第1章 蓝牙的发展历程

- 按照蓝牙 4.0 规范且基于 GATT 架构；
- 双模包括低功耗蓝牙和传统蓝牙；
- 允许用户升级设备固件。

应具备：

- 允许第三方创建 APP 并下载到设备上运行。

首个支持蓝牙 4.0 标准的智能手机则是在 2011 年 9 月发布的 iPhone 4S。随后 Galaxy S3、Galaxy Note 2 等一批支持蓝牙 4.0 的智能手机也纷至沓来。目前市场上主流的智能手机品牌硬件上基本上都已经支持蓝牙 4.0。单模(single-mode)应用面向高集成、低数据量、低功耗设备,支持快速连接、可靠的点对多点数据传输、安全的加密连接等特性。本书主要探讨基于低功耗蓝牙的单模式应用。

需要注意的是,单模蓝牙低功耗设备与现有传统蓝牙设备不能兼容,无法向下兼容(与 3.0/2.1/2.0 无法相通),仅能与支持低功耗蓝牙(BLE)技术的设备相连接。一般而言,智能手机、平板电脑个人电脑等设备将会安装双模式蓝牙芯片,以便与蓝牙低功耗设备及传统蓝牙设备进行互操作。

单模蓝牙设备上的蓝牙标识是“Bluetooth Smart”,表示具备蓝牙 4.0 单模(Bluetooth v4.0 single-mode)的智能设备,见图 1.7。Bluetooth Smart 应具备以下特性:

- 按照蓝牙 4.0 规范且基于 GATT 架构；
- 作为单模低功耗设备。



图 1.7 单模低功耗蓝牙(智能蓝牙)设备及标识

对于构成蓝牙 4.0 的生态来说,除了需要手机硬件对蓝牙 4.0 的支持外,操作系统对于蓝牙 4.0 的支持也甚为关键。IOS6.0 以上已经提供对蓝牙 4.0 的原生态支持,Android 4.3 开始为蓝牙 4.0 提供了的原生态支持,Windows 8 也已经提供了原生态的操作系统支持,这就为低功耗蓝牙的应用奠定了良好的生态基础,操作系统对蓝牙 4.0 的支持见图 1.8。

支持蓝牙 4.0 的手机硬件平台,原生态的操作系统支持,以及低功耗蓝牙外设已经打通了低功耗蓝牙应用的各个环节,对当下如火如荼的可穿戴设备,乃至“物联网”的应用起到推波助澜的作用。

同时包括 Nordic Semiconductor、CSR、TI 等在内的半导体厂商也提供了适用与低功耗蓝牙外设(Bluetooth Smart)的解决方案,其中 Nordic Semiconductor 由于具有良好的系统及软件架构、极低的功耗,在众多运动健康产品,可穿戴设备中得到广





图 1.8 操作系统对蓝牙 4.0 的支持

泛应用,为多个知名的穿戴设备及运动健康品牌所选用,如 Fitbit、Jawbone、adidas、Nike 等。

### 1.2.5 关于蓝牙 4.1

作为蓝牙技术的进一步发展,2013 年 12 月份发布了蓝牙 4.1 规范,蓝牙技术联盟(Bluetooth SIG)日前正式推出了蓝牙 4.1 标准,蓝牙 4.1 标准在之前的基础上做了四大改进,主要变化在低功耗蓝牙部分:

- (1) 与 4G 等技术实现“和平共处”,更好的支持 LTE;
- (2) 进一步减少设备间重连时间,将更加智能化;
- (3) 对数据传输速度进行了优化,传输速度更快更高效;
- (4) 支持 IPv6 标准,满足物联网的要求。

由于目前蓝牙 4.1 标准刚发布,操作系统尚需要一段时间来实现支持,未来蓝牙 4.0 的设备可以通过升级固件的方式,提升到支持蓝牙 4.1,进一步拓展其应用场景和空间。

### 1.2.6 关于蓝牙 4.2

随着智能设备的进一步发展和物联网概念的兴起,业界对短距离无线通信技术提出了更高的要求。在这样的背景下蓝牙 4.2 应运而生。2014 年 12 月 5 日蓝牙技术联盟公布的蓝牙 4.2 标准。蓝牙 4.2 标准为物联网,尤其是低功耗智能设备联网大开方便之门。

蓝牙 4.2 的最大改进是支持 6LowPAN(IPv6 over Low-power wireless Personal Area Networks),亦即基于 IPv6 协议的低功耗无线个人局域网技术。6LowPAN 是首个融入 IP 协议的无线通信标准,这一技术允许多个蓝牙设备基于 IP 通过一个终端接入互联网或局域网。在智能家居系统中,传统的家庭电气设备都有可能连入局域网方便交互和控制,但大多数的设备并不适合高带宽、高功耗的 Wi-Fi 接入方式。智能插座、智能开关、智能灯具、空调、净化/加湿设备、厨卫电器等更适合使用蓝牙传输。以往的标准下每个设备必须连接智能手机或 PC 才能被控制,这大大限制了蓝牙的使用场景。蓝牙 4.2 使得同一个房间只需有一两个蓝牙到局域网络接入端(比如支持蓝牙 4.2 的无线 AP),就可以让房间内所有的蓝牙 4.2 设备接入家庭局域网络而无需手机或 PC 的参与。这样,大部分智能家居电器可以抛弃较为复杂的