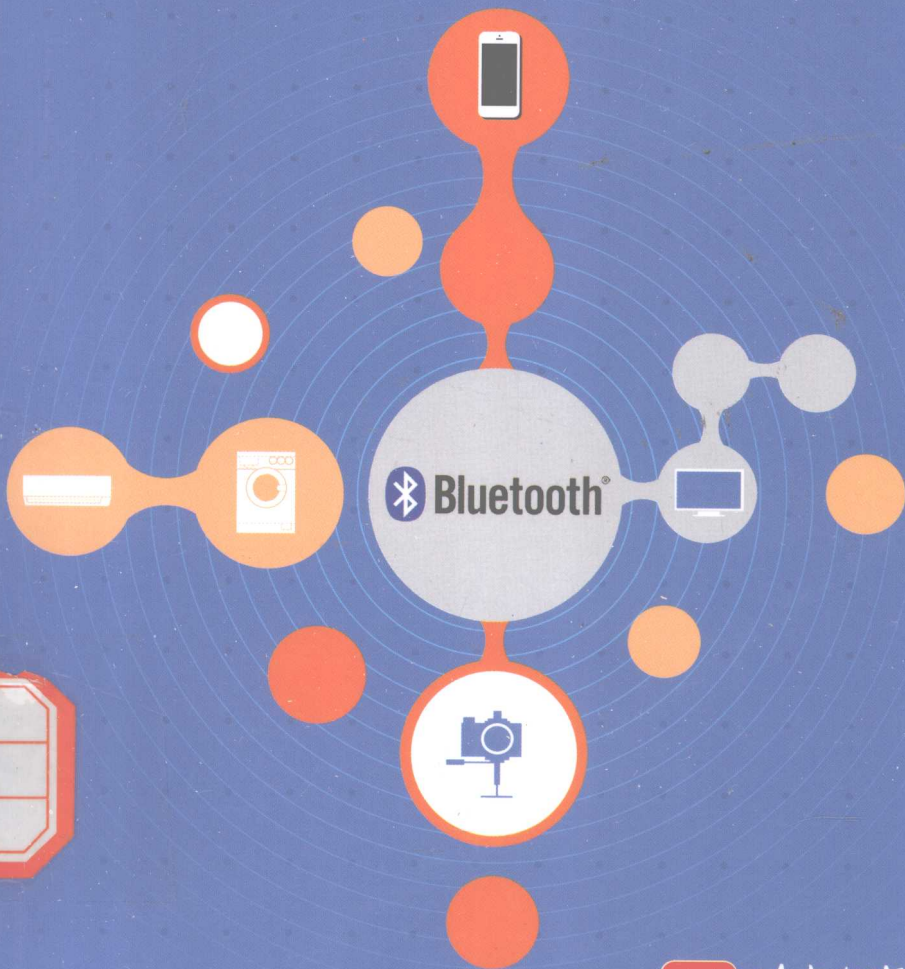


低功耗蓝牙/智能硬件技术丛书

低功耗蓝牙与 智能硬件设计

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

低功耗蓝牙与智能硬件设计

谭 晖 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书介绍低功耗蓝牙与智能硬件设计,内容包括:电波传播原理,天线原理及设计,nRF51开发环境及其搭建,如何创建低功耗蓝牙应用,Android下的低功耗蓝牙编程开发,iOS下的低功耗蓝牙编程开发,Windows下的低功耗蓝牙编程开发,低功耗蓝牙无线桌面套装设计,可穿戴设备中的智能手环设计,智能家居中的智能LED灯泡设计,iBeacon原理及应用,低功耗蓝牙认证及测试等。

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

低功耗蓝牙与智能硬件设计 / 谭晖编著. — 北京 :
北京航空航天大学出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-5124-1961-2

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 284937 号

版权所有,侵权必究。

低功耗蓝牙与智能硬件设计

谭 晖 编 著

责任编辑 胡晓柏

*

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

北京泽宇印刷印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:22 字数:469 千字

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

ISBN 978-7-5124-1961-2 定价:56.00 元

序 言

我与编著者谭晖先生第一次见面是在 2001 年的哈尔滨,我们认识至今已经有将近 15 年时间。他观察到了无线中短距离技术在中国的广泛应用前景,从而建立了从学术方面到与商业应用的结合,并做到了这一点。同时,他也注意到新知识和技术的教育并编著了系列书籍,为中国的学生及工程师开始低功耗无线和智能蓝牙的应用提供有益的帮助。

作者编著的系列书籍帮助读者深入了解重要的无线通信和低功耗无线技术,还有智能硬件、运动健康、物联网等方面应用,并包含系统级单芯片 SoC 及低功耗蓝牙协议和硬件的设计等诸多内容。

本书围绕低功耗蓝牙和智能硬件的新应用,涵盖无线通信基本概念、天线原理及设计、可穿戴设计、智能家居设计、IOT 物联网及 APP 方面的设计等内容,其中包括全球应用广泛的低功耗蓝牙 SoC,基于 ARM Cortex-M0 架构的 nRF51。nRF51 具有先进的内部架构和丰富的基于 ARM 的开源智能硬件设计资源,可为这些创新性的应用提供很好的支撑。

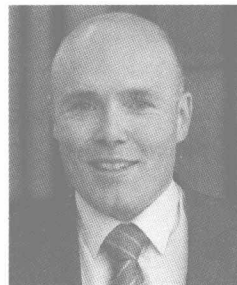
对于有兴趣的读者,本书将会为您深入了解这些新的技术带来极大帮助,并可以很快开始新的应用。

盖尔·朗厄兰

Geir Langeland

全球销售及营销总监

Nordic Semiconductor ASA 北欧半导体公司



前言

智能硬件、智能家居、物联网、移动互联网大潮的到来，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。其中，低功耗蓝牙技术是实现智能连接的重要技术支撑。

低功耗蓝牙技术(又称“智能蓝牙”)是蓝牙 4.0 标准开始带来的新特性，具有极低的功耗，快速连接及低时延，连接节点不受限制，以及支持 IPV6 演进等特性。目前智能手机平台及操作系统 Android(4.3 以上)、iOS(6.0 以上)、Windows(8.0 以上)均提供了对低功耗蓝牙的原生态支持，使其天然地具备了移动互联平台的能力。

越来越多的研发人员开始把关注的目光投向智能产品开发的同时，也会面临着如缺少实战型的参考资料以及书籍，由于很多都是资料比较分散，信息更新比较快，同时很多也涉及硬件、软件、射频、APP 开发等诸多内容。本书在低功耗蓝牙开发方面总结多年的经验和积累，深入了解技术人员的关注点后编写而成，希望能帮助读者快速掌握相关技术，迅速完成技术入门及迭代，在智能硬件大潮中畅游。

第 1 章讲述电波传播的原理，这是由于低功耗蓝牙及智能硬件必然涉足无线电传播。

第 2 章讲述天线的原理及设计，因为天线是所有无线电设备中信号的最后一个关键环节，往往影响实际的功能及效果，这里抛弃了烦琐的天线理论，用简明快捷的实战型内容给出了智能硬件所需天线的设计以及调谐实例及步骤，不再对天线设计及天线调谐望而生畏。

第 3 章介绍了以低功耗蓝牙为基础的智能硬件开发平台，以及相关调试工具的使用，可以使开发者快速上手。

第 4 章讲述如何创建一个低功耗蓝牙外设的应用。

第 5 章介绍 Android 下的低功耗蓝牙 APP 应用开发，以及开发平台与开发实例。

第 6 章介绍 iOS 下的低功耗蓝牙 APP 应用开发，以及开发平台与开发实例。

第 7 章介绍 Windows 下的低功耗蓝牙 APP 应用开发，以及开发平台与开发实例。

第 8 章介绍一个低功耗蓝牙无线桌面套装开发。

第 9 章以智能手环的设计为例,介绍智能可穿戴设备的开发。

第 10 章以智能 LED 灯泡的设计为例,介绍智能家居、物联网,以及 MESH 网络的开发。

第 11 章介绍目前在室内定位、O2O,以及社交应用中成为创新焦点的 iBeacon 技术。

第 12 章介绍涉及低功耗蓝牙测试认证中的相关知识。

这些内容以实战经验为主轴,贯穿了低功耗蓝牙、智能硬件、APP 设计等,帮助开发人员快速入门及构建基于低功耗蓝牙技术的应用,在短时间内开发出具有创意的智能产品。

感谢 Nordic 公司全球市场总监 Geir 先生为本书撰写序言,Geir 先生是低功耗蓝牙技术及标准创建者之一及积极推动者,对低功耗蓝牙技术发展的洞察令人钦佩,感谢 Nordic 首席执行官 Sverre Tore,以及亚太区市场及销售总监 Steel、中国区经理 Gary 长期以来的热心帮助,我们也忘不了 Nordic 亚太区技术团队 Kjartan、Jimmy、John、Salas、PK、Ken 等的支持与协助,并提供了建设性意见。

由于编著者水平有限,加之时间仓促,书中的疏漏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

第 1 章 电波传播基础	1
1.1 电磁波以及无线通信技术的发展	1
1.1.1 奥斯特实验	1
1.1.2 法拉第电磁感应实验	1
1.1.3 麦克斯韦方程组	2
1.1.4 赫兹电磁波实验	2
1.1.5 马可尼无线电报实验	3
1.1.6 无线电通信技术的发展历史	3
1.2 电波传播分析	4
1.2.1 无线系统链路动态范围	5
1.2.2 自由空间电波传播损耗	5
1.2.3 无线电信号的穿透损耗	8
1.2.4 无线电波的反射、散射、绕射及多径效应	9
第 2 章 天线基本原理	14
2.1 天线的作用	14
2.2 关于天线的一些其他问题	18
2.3 偶极子天线	19
2.4 单极天线	20
2.4.1 鞭状天线	21
2.4.2 倒 F 天线	21
2.4.3 蛇形天线	23
2.4.4 片状天线	24
2.5 周围物体对天线性能的影响及考虑	28
2.5.1 金属物体对天线性能的影响	28

2.5.2	介电材料对天线性能的影响	28
2.6	天线的调谐	28
2.6.1	天线的初步调谐	29
2.6.2	天线的最后调谐	30
2.7	天线小型化的考虑	31
2.8	如何检查天线的设计	33
2.9	关于巴伦	33
2.10	关于阻抗及阻抗匹配	35
第3章	nRF51822 开发实验环境的搭建	36
3.1	nRF51822 的开发环境简介	36
3.2	nRF51 - DK 开发包	36
3.2.1	nRF51 开发板	36
3.2.2	nRFgo Studio 综合开发环境	36
3.2.3	Keil MDK - ARM 开发工具	39
3.2.4	nRF51 SDK 软件开发包(Software Development Kit)	39
3.3	nRF51 Dongle	40
3.3.1	配合 Master Control Panel, 作为低功耗蓝牙主机使用	41
3.3.2	配合 nRF Sniffer 工具和 Wireshark, 作为低功耗蓝牙嗅探器使用	42
3.4	智能手机端的低功耗蓝牙开发调试工具	49
3.4.1	主机控制面板 Master Control Pannel	50
3.4.2	nRF Toolbox 工具软件	54
3.4.3	LightBlue 工具软件	54
3.5	XT - EDU 移动互联综合应用开发系统	59
3.5.1	移动互联综合应用开发系统资源介绍	59
3.5.2	XT - EDU - AK 介绍	59
3.5.3	XT - EDU - HK 介绍	60
3.5.4	配套传感器模块和 OLED 屏介绍	61
3.5.5	J - Link 开发仿真工具	62
3.5.6	XT - EDU - AK 主板系统框图	63
3.6	低功耗蓝牙模块	63
3.6.1	纽扣电池大小的嵌入式低功耗蓝牙模块 PTR5518	63
3.6.2	指尖大小的超小型低功耗蓝牙模块 PTR5528	65
3.6.3	PTR9018 全 I/O 型低功耗蓝牙模块	66
3.6.4	PTR9018+ 外接天线低功耗蓝牙模块	69

第 4 章 如何创建低功耗蓝牙应用	72
4.1 创建 nRF51822 的低功耗蓝牙应用	72
4.2 低功耗蓝牙各层介绍	72
4.2.1 Generic Access Profile 通用访问配置文件(GAP)	73
4.2.2 Generic Attribute Profile 通用属性配置文件 (GATT)	75
4.2.3 标准和自定义服务与特性	76
4.2.4 UUID	76
4.2.5 空中操作和属性	77
4.3 最基本的低功耗蓝牙应用概述	78
4.3.1 初始化概述	78
4.3.2 S110 协议栈	79
4.3.3 连接参数	79
4.3.4 服 务	80
4.3.5 特 性	80
4.4 LED 按键应用范例	80
4.4.1 代码概述	81
4.4.2 源代码	83
4.4.3 建 立	83
4.4.4 Implementing the service 实现服务	84
4.4.5 应用实现	91
4.5 测试应用	97
第 5 章 Android 下的低功耗蓝牙编程开发	102
5.1 关于 Android	102
5.2 Android 的开发环境	103
5.2.1 Java SE development kit 安装	103
5.2.2 Eclipse 开发环境	107
5.3 Android 下低功耗蓝牙 APP 的开发	116
5.3.1 开始 Android 的低功耗蓝牙编程	117
5.3.2 扫描外围设备	118
5.3.3 与低功耗蓝牙(智能蓝牙)设备进行通信	127
第 6 章 iOS 下的低功耗蓝牙编程开发	151
6.1 关于 iOS	151
6.2 iOS 开发入门	152

6.2.1	iOS 开发前主要步骤	152
6.2.2	苹果商店 APP Store	152
6.2.3	创建 Apple ID	153
6.2.4	关于 Xcode	155
6.3	iOS 下低功耗蓝牙 APP 的开发及实验	162
6.3.1	创建一个新的 Xcode 项目	162
6.3.2	导入封装包文件	164
6.3.3	扫描外设	165
6.4	iOS 与低功耗蓝牙设备通信	178
6.4.1	连接到设备	178
6.4.2	读取 RSSI 值	192
6.4.3	扫描服务	195
6.4.4	查询特性	197
6.4.5	读写特性	198
6.4.6	按键按下时智能蓝牙设备发声	202
6.4.7	手机在 Link loss 链路断开时声音提醒	204
第 7 章 Windows 8 下的低功耗蓝牙开发		207
7.1	关于 Windows 8	207
7.2	Windows 8 与低功耗蓝牙	207
7.3	低功耗蓝牙设备的扫描	208
7.3.1	创建一个新的 Windows Phone 工程	208
7.3.2	智能手机扫描外设	208
7.3.3	智能手机扫描外设	212
7.4	与低功耗蓝牙设备通信	212
7.4.1	添加页面来控制蓝牙设备	212
7.4.2	添加外设控制页 Peripheral Control Page	212
第 8 章 低功耗蓝牙/2.4 GHz 无线桌面套装设计		221
8.1	无线桌面套装	221
8.2	2.4 GHz/低功耗蓝牙无线桌面套装介绍	222
8.3	nRF6927——2.4 GHz/低功耗蓝牙无线桌面套装之无线键盘	223
8.3.1	无线键盘系统框图	223
8.3.2	键盘矩阵	223
8.3.3	nRF51822 无线模块	225
8.3.4	NFC 模块	227

8.4	nRF6927——2.4 GHz/低功耗蓝牙无线桌面套装之无线鼠标	230
8.4.1	2.4 GHz/低功耗蓝牙无线鼠标系统框图	230
8.4.2	无线及处理器部分	230
8.4.3	DC/DC 转换	231
8.4.4	光学传感部分	232
8.4.5	按键、滚轮及连接器原理图	233
8.4.6	无线鼠标 PCB 布局图	233
8.5	多协议无线桌面套装的软件设计	233
8.5.1	软件系统架构	235
8.5.2	电源管理	236
8.5.3	多协议实现	237
8.5.4	无线鼠标软件流程图	237
8.5.5	无线键盘软件流程图	238
8.5.6	NFC 模块软件流程图	240
8.5.7	无线 USB 适配器软件流程图	244
8.6	nRF6928——2.4 GHz 无线 USB 适配器	253
8.6.1	无线 USB 适配器系统框图	254
8.6.2	无线 USB 原理图	254
第 9 章	可穿戴技术及智能手环设计	256
9.1	关于可穿戴技术	256
9.2	关于智能手环	258
9.3	智能手环的硬件实现	258
9.3.1	低功耗蓝牙射频以及处理器	259
9.3.2	加速度传感器	259
9.3.3	系统电源管理电路	261
9.3.4	振动马达及驱动电路	264
9.3.5	智能手环原理图	265
9.4	智能手环运动检测的原理	266
9.5	计步算法实现的流程图	269
9.6	智能手环的计步软件总体流程图	270
第 10 章	智能家居之智能 LED 灯设计	272
10.1	智能家居概述	272
10.2	低功耗蓝牙与智能家居	272
10.3	苹果公司的智能家居解决方案	273

目 录

10.4	谷歌的智能家居解决方案	274
10.5	智能 LED 灯	274
10.5.1	智能 LED 灯的构成框图	276
10.5.2	BLE 低功耗蓝牙模块以及软件设计	277
10.5.3	LED 驱动模块	278
10.5.4	电源模块	281
10.5.5	智能 LED 灯 APP 软件	283
10.6	低功耗蓝牙无线 MESH 网络	284
10.6.1	点到点的连接	284
10.6.2	点到多点的连接	284
10.6.3	Mesh Network 连接	286
10.6.4	低功耗蓝牙无线 Mesh 网络	286
10.6.5	基于 Mesh 的低功耗智能蓝牙 LED 灯 Mesh 网络系统	287
第 11 章 关于 Beacon 原理及应用		291
11.1	什么是 iBeacon	291
11.2	iBeacon 的应用场景	293
11.3	深入了解 iBeacon 的工作模式	297
11.4	iBeacon 的数据格式	298
11.5	一个 iBeacon 演示系统的实现	302
11.5.1	Beacon 硬件	302
11.5.2	iBeacon 硬件框图	302
11.5.3	iBeacon 硬件设计原理图	302
11.5.4	iOS 下的 Beacon 应用演示软件	303
11.6	iBeacon 的最新发展	305
11.7	iBeacon 在国内最新应用	306
11.7.1	iBeacon 在北京首都机场实现室内导航	306
11.7.2	iBeacon 在微信中的应用	306
11.7.3	iBeacon 在支付宝中的应用	308
11.7.4	各种应用场景的 iBeacon	309
11.7.5	iBeacon 配置工具	313
11.8	xBeacon 开发工具包	317
11.8.1	xBeacon 的 SDK 开发工具包简介	317
11.8.2	应用程序初始化	318
11.8.3	开始搜索附近蓝牙设备	318
11.8.4	停止搜索	319

11.8.5 xBeacon 中常用的重要参数列表	323
第 12 章 关于蓝牙认证及测试	324
12.1 关于蓝牙认证与测试	324
12.2 低功耗蓝牙测试原理	324
12.3 测试流程	324
12.3.1 发射机测试流程	326
12.3.2 接收机测试流程	327
12.4 蓝牙测试命令	327
12.5 nRF51822 测试用工程文件及使用方法	329
12.5.1 射频测试 radio_test_example	329
12.5.2 DTM 模式测试采用 SDK 以及 nRF51 - DK 测试	331
12.5.3 采用专用的蓝牙测试仪器测试	332
12.5.4 PTS 配置文件调整工具	333
参考文献	334

第 1 章

电波传播基础

1.1 电磁波以及无线通信技术的发展

电磁场与电磁波技术已遍及人类的科学技术、政治、经济、军事、文化以及日常生活的各个领域,是近代自然科学中理论相对最完整、应用最广泛的支柱学科之一,更是无线电通信的基石。在电磁波与无线电技术的发展史上,有赖于多名重量级科学家里程碑式的发现,在此简单回顾一下电磁波发现的历史。

1.1.1 奥斯特实验

丹麦物理学家奥斯特是世界上第一个发现电与磁之间关系的人。大约在 1820 年 4 月的一天,他正在课堂上做物理实验,偶然将磁针平行放在通电导线附近,磁针发生偏转,如图 1-1 所示。他看到这一现象后非常兴奋,又连续做了几十个不同的实验,终于证明了通电导线周围存在磁场。

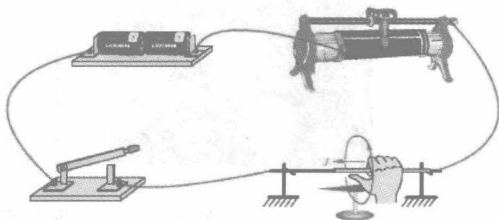


图 1-1 奥斯特实验

1.1.2 法拉第电磁感应实验

电磁学的重要奠基人法拉第是电磁现象实验研究的奠基人,他最主要的贡献为,除了发现作为电磁学基础的电磁感应定律之外,还提出了“电磁场”的新概念,并且用电力线和磁力线来描述电磁场。图 1-2 为法拉第电磁感应实验。

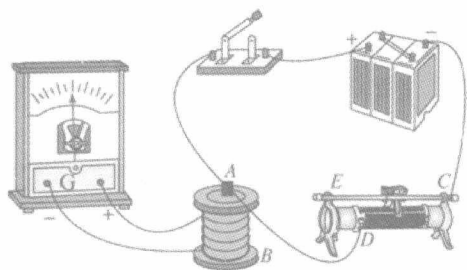
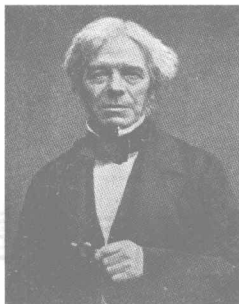
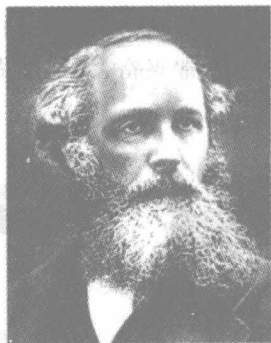


图 1-2 法拉第电磁感应实验

1.1.3 麦克斯韦方程组

另一位伟大的理论物理学家麦克斯韦总结了法拉第等广泛的实验研究成果,系统总结了电学和磁学的新成就,提出著名的电磁场理论。在这个理论中,他预言了电磁波的存在,并预见到光也是一种电磁波。这是物理学史上一次惊人的预言,也是牛顿之后最伟大的发现。他在 1873 年发表的著名论文中提出了著名的麦克斯韦方程组(见图 1-3),从而奠定了光学、电磁学和电磁波传播的理论基础。重要的是,麦克斯韦方程组预示了电磁波的存在,且其传播速度应等于光速。



Maxwell's Equations

Differential form

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

图 1-3 麦克斯韦方程组

1.1.4 赫兹电磁波实验

1888 年,德国物理学家赫兹根据电容器经由电火花隙会产生振荡原理,设计了一套电磁波发生器,用实验(见图 1-4)测量证明了电磁波的存在以及电磁波的传播速度等于光速,开创了无线电电子技术的新纪元,树立了近代科学史上的一座里程碑。

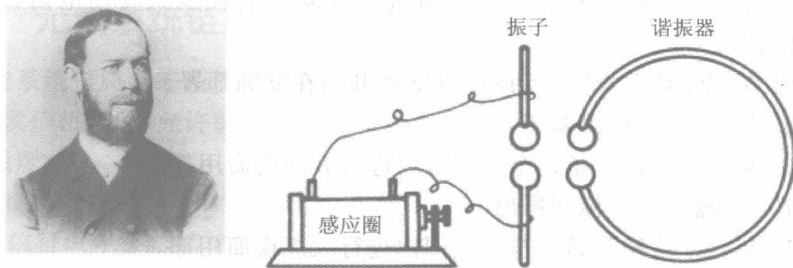


图 1-4 赫兹电磁波实验

1.1.5 马可尼无线电报实验

第一次以电磁波传递讯息是 1896 年由意大利的马可尼开始的。1901 年,马可尼又成功将讯号传送到大西洋彼岸的美国。20 世纪无线电通信更有了异常惊人的发展。赫兹实验不仅证实麦克斯韦的电磁理论,更为无线电、电视、雷达以及移动通信的发展找到了途径。图 1-5 为马可尼无线电报实验。

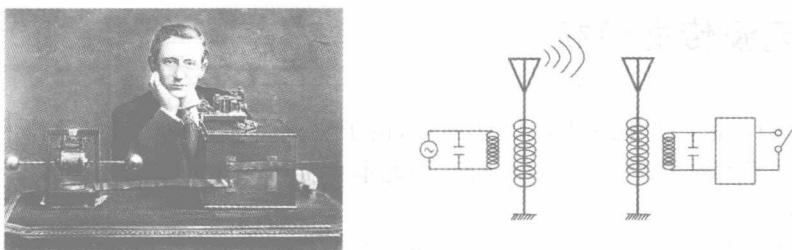


图 1-5 马可尼无线电报实验

1.1.6 无线电通信技术的发展历史

- 1820 年奥斯特在世界上第一个发现电与磁之间关系。
- 1831 年法拉第发现电磁感应定律,并提出了“电磁场”的新概念。
- 1873 年麦克斯韦总结前人的广泛实验研究成果,提出著名的麦克斯韦方程组。
- 1888 年赫兹用实验证明了电磁波的存在。
- 1895 年俄国科学家波波夫发明了第一个无线电报系统。
- 1914 年无线语音通信成为可能。
- 1920 年商业无线电广播开始使用。
- 20 世纪 30 年代发明了雷达。
- 20 世纪 40 年代雷达和通信得到飞速发展。
- 20 世纪 50 年代第一颗人造卫星上天,卫星通信事业得到迅猛发展。

➤ 1982年,摩托罗拉公司研发生产出世界上第一台便携式移动电话(当时国内也叫“大哥大”)。

➤ 1991年,2G数字蜂窝移动网络GSM开始在欧洲部署。

➤ 1995年,爱立信推出蓝牙1.0。

➤ 2003年,3G系统开始在全球范围内进行大规模商用部署。

➤ 2010年,蓝牙4.0标准推出。

➤ 2013年,4G系统开始在全球范围内进行大规模商用部署。

无线的世界是“无限的”,在无线电应用发展过程中,理论及技术不断发展和完善,无线应用已经遍布到我们的身边,如今包括很多创新产品在内的新产品设计也越来越多地渗透到无线应用,诸如低功耗蓝牙及可穿戴产品等。对于很多技术人员由于创新产品开发需要,也由单纯的嵌入式单片机产品开发,开始涉足无线产品的研发,面对无线通信这一看不见摸不着的“黑箱”,往往感到无从着手。

如何更快地掌握无线通信的基本知识,系统能否正常工作在无线信道的最大距离上以及如何确保可靠的无线通信,是广大技术开发人员关注的问题。本书开启了这样一扇窗口,通往实现可靠无线通信的目标。

1.2 电波传播分析

2.4 GHz是全球免许可证ISM频段,由于法律法规上的支持以及技术的发展,许多无线产品都是基于2.4 GHz频段,因此本书所讨论的内容都是基于2.4 GHz频段来进行的。

电波传播分析最简单的方法是计算和预测,下面抛开烦琐的电磁波理论分析,以更贴近实战的方式帮助应用者达到所需的效果。

电波传播分析包括两方面内容:

1) 无线系统的链路动态范围的设定

根据系统各关键部分的技术指标,如接收机灵敏度、发射机的发射功率、天线的增益等,计算出无线系统的链路动态。

2) 电磁波的传播损耗分析及预测

研究任何无线电通信系统,必须首先对电波传播做研究,因为它直接关系到无线通信性能和指标的确定,关系到频率的选择和通信距离的计算,关系到如何实现可靠通信。

无线电波在传播过程中会产生损耗,当损耗达到一定数值时便不能确保可靠的通信,因此如何建立一个可靠的无线通信链路以及在多长距离上维持可靠的无线连接是需要考虑的问题。电波传播的损耗主要包括自由空间传播损耗,信号穿透损耗以及反射、散射和衍射损耗与多径损耗等。