



普通高等教育**电子通信类**国家级特色专业系列规划教材

短距离无线通信技术 及其实验

夏玮玮 刘 云 沈连丰 编著



科学出版社

普通高等教育电子通信类国家级特色专业系列规划教材

短距离无线通信技术及其实验

夏玮玮 刘 云 沈连丰 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书重点论述 Bluetooth(蓝牙)、Zigbee、RFID 等短距离无线通信技术并给出对应的实验。全书共分为 12 章, 主要内容包括蓝牙数字基带仿真、蓝牙语音传输、蓝牙数据传输、蓝牙电话网接入、蓝牙局域网接入、蓝牙无线多点组网、Zigbee 协议栈与 CSMA-CA 机制、Zigbee 无线组网、基于 Zigbee 技术的无线传感器网络、RFID 基本读写与性能分析、基于 RFID 技术的智慧校园和智能医护的应用等。书中深入浅出地阐述了短距离无线通信技术的基本理论和工作原理, 给出了每个实验涉及的基本原理、实验设备与软件环境、实验内容、实验步骤以及预习和实验报告要求。读者通过全面参与来体验这些新技术, 能够对短距离无线通信系统获得实际的感受和直接的经验。

本书可作为高等院校通信类、信息类、电子类、计算机科学与工程类、理工科其他学科本科生或研究生“短距离无线通信技术”课程和实验的配套教材, 也可作为相关的科研、生产及管理人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

短距离无线通信技术及其实验/夏玮玮, 刘云, 沈连丰编著. —北京: 科学出版社, 2014.6

普通高等教育电子通信类国家级特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-03-041137-2

I. ①短… II. ①夏… ②刘… ③沈… III. ①无线通信-实验-高等学校-教材 IV. ①TN92-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128280 号

责任编辑: 潘斯斯 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 阎磊 / 封面设计: 迷辰书装

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>

北京中新伟业印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 16

字数: 329 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



前 言

进入 21 世纪以来,通信信息行业取得了飞速的发展。移动通信 3G、4G 技术不断演进,新技术层出不穷,对各个行业都产生了深远的影响。目前的移动通信向大宽带、高速率、大容量、多媒体的方向发展,频率资源和通信容量之间的矛盾日益突出,如何使用一种更好的无线方法建立起设备之间的信息传输,这给短距离无线通信技术的发展提供了广阔的空间。短距离无线通信技术以其低成本、低功耗、不需要申请频率资源使用许可证、实现容易等优势近年来得到了广泛的应用。通信技术的发展,也扩大了国民经济对通信人才的需求。在通信技术日新月异的今天,如何让学生在在校期间有机会接触一些前沿技术并开展实际的工程设计和研发训练,对于提高教学质量和学生的就业竞争力具有重要意义。2001 年以来,东南大学移动通信国家重点实验室以及依托的南京东大移动互联技术有限公司,对蓝牙、Zigbee、RFID 等短距离无线通信技术进行了深入的研究,笔者课题组先后承担了多项国家自然科学基金、863 计划、973 计划、国家科技重大专项等国家级以及省部级和香港特区政府“创新与科技基金”等海内外合作的各类研究开发项目,这些项目已经产生 30 多项授权发明专利,以及江苏省科技进步一等奖、教育部科技进步一等奖等多项科技进步奖。通过将实践中的前沿科技成果融入通信教学和实验体系,教改成果“将前沿科技融入通信工程专业教学的改革与实践”于 2011 年获得江苏省高等教育教学成果一等奖。

短距离无线通信技术并没有严格的定义,一般意义上,只要通信收发双方通过无线电波传输信息,单跳传输距离限制在较短(通常最远为数百米)的范围内,就可以称为短距离无线通信。以 Bluetooth(蓝牙)、Zigbee、RFID 等为代表的短距离无线通信技术不仅可以在小范围内把各种移动通信设备、固定通信设备、计算机及其采集端设备、各种数字数据系统、家用电器通过一种廉价的无线电缆方法互相连接起来;而且也可使蜂窝电话系统、无绳电话系统、因特网等现有网络增添无线传输和组网的功能。因此,短距离无线通信技术得到了广泛的应用,其应用领域已经渗透到各行各业。编者课题组于 2003 年编著《通信新技术及其实验》一书,以蓝牙技术为物理平台,本书综合近 10 年的科技发展,选取 Bluetooth、Zigbee、RFID 这三种具有代表性的短距离无线通信技术,不仅介绍了这三种技术的基本理论和工作原理,还辅之以配套实验,深入浅出地给出了每个实验涉及的实验原理、实验设备与环境、实验内容、实验步骤以及预习和实验报告要求。不仅是一本实验、开发的指导书,同时也是一本关于短距离无线通信的基础教材。

全书共分为 12 章,分别是蓝牙数字基带仿真,蓝牙语音传输,蓝牙数据传输,蓝牙电话网接入,蓝牙局域网接入,蓝牙无线多点组网,Zigbee 协议栈与 CSMA/CA

机制, Zigbee 无线组网, 基于 Zigbee 技术的无线传感器网络, RFID 基本读写与性能分析, 基于 RFID 技术的智慧校园和智能医护的应用。通过在推荐的短距离无线通信技术实验平台上所做的典型实验, 使读者在掌握蓝牙技术的基本原理基础上, 对于蓝牙数字基带仿真、语音传输、数据传输、电话网接入、局域网接入、无线多点组网的原理、实现方法和工作过程有深刻的理解; 能掌握 Zigbee 协议栈结构、Zigbee 物理层数据包结构与 MAC 层帧结构、CSMA/CA 机制、Zigbee 无线组网过程与拓扑结构、基于 Zigbee 的无线传感器网络的结构、特点、路由的实现过程与基本工作原理; 理解 RFID 系统基本模型、工作原理、技术特点等基本原理解, 掌握通信接口、性能分析、参数设置等操作方法, 并能基于 RFID 和 Zigbee 技术进行应用拓展的设计与开发。使读者掌握嵌入式系统硬件和软件开发的能力, 培养学生硬件连接、交叉编译、软件下载、分析验证、方案设计等实验操作技能, 对于提高实践动手能力, 提升学生素质具有重要的作用。

本书第 1~3 章、第 7~9 章由夏玮玮撰写, 第 4~6 章、第 10~12 章由刘云撰写, 全书的修改定稿由沈连丰完成; 本室同事宋铁成、胡静和博士后贾子彦以及多位博士研究生参与了修订大纲的讨论和部分工作; 李俊超、王佩等做了许多具体工作。书中的系列实验由南京东大移动互联技术有限公司依托东南大学信息科学与工程学院和移动通信国家重点实验室设计和研制, 该公司的刘柏全、沈俊杰、龚显明、章欣、徐盼、李剑等对每一个实验都进行了精心的测试, 使之稳定可靠; 张梦寒、吴华月、林子敬、朱亚萍、章跃跃、袁程炫、钱妍、茆意伟、郎松平、谭雨凤等博士研究生和硕士研究生参与了书中实验的设计与开发。东南大学信息科学与工程学院主管教学的副院长孟桥教授始终关心本书的写作, 提出了许多非常宝贵的建设性意见; 东南大学科技处、教务处、研究生院、信息科学与工程学院的领导及科学出版社的领导 and 编辑对我们的工作给予了大力支持和热情指导。吉林大学、国防科技大学、中国矿业大学、武汉理工大学、东华大学、福建师范大学、湖南城市学院等兄弟院校使用了本书原讲义和实验设备, 给出了许多改进和修改意见。因此, 本书及其推荐的实验设备是集体智慧的结晶, 在此谨向支持作者工作和为本书作出贡献的同仁致以最诚挚的感谢!

本书系列实验已在多个高校开设, 取得了良好的教学效果, 在提高教学质量和学生创新能力方面发挥了一定的作用。但限于时间和水平, 本书的编写和推荐的实验平台、给出的实验案例还存在不足之处, 敬请使用本书和实验设备的师生及读者不吝指正。

编 者

2014 年 6 月

于东南大学移动通信国家重点实验室

目 录

前言

第 1 章 蓝牙数字基带仿真	1
1.1 引言	1
1.2 基本原理	1
1.2.1 蓝牙技术发展概况	1
1.2.2 蓝牙技术特点	2
1.2.3 蓝牙系统组成	3
1.2.4 蓝牙基带系统介绍	4
1.2.5 差错控制编码	9
1.2.6 跳频扩频原理及算法	14
1.2.7 通信系统安全性	17
1.3 实验设备与软件环境	20
1.4 实验内容	20
1.5 实验步骤	21
1.5.1 差错控制实验	21
1.5.2 跳频扩频实验	22
1.5.3 加密解密实验	23
1.6 预习要求	25
1.7 实验报告要求	25
1.8 思考题	26
第 2 章 蓝牙语音传输	27
2.1 引言	27
2.2 基本原理	27
2.2.1 脉冲编码调制	27
2.2.2 增量调制	36
2.2.3 蓝牙设备的语音和数据传输	40
2.3 实验设备与软件环境	41
2.4 实验内容	41
2.5 实验步骤	42

2.5.1	语音编码	42
2.5.2	语音传输	42
2.5.3	软件编程(可选)	45
2.6	预习要求	46
2.7	实验报告要求	46
2.8	思考题	46
2.9	附录	46
第 3 章	蓝牙数据传输	49
3.1	引言	49
3.2	基本原理	49
3.2.1	网络的体系结构	49
3.2.2	协议与体系结构	50
3.2.3	计算机数据传输基本概念	54
3.2.4	数据传输实验中设计的协议层	57
3.3	实验设备与软件环境	69
3.4	实验内容	69
3.5	实验步骤	70
3.5.1	面向连接的操作	73
3.5.2	面向无连接的操作	74
3.5.3	自环	75
3.5.4	软件编程(可选)	75
3.6	预习要求	76
3.7	实验报告要求	76
3.8	思考题	76
3.9	附录	76
第 4 章	蓝牙电话网接入	78
4.1	引言	78
4.2	基本原理	78
4.2.1	公用电话交换网络	78
4.2.2	电话工作原理	78
4.2.3	基于蓝牙技术的 PSTN 接入系统	80
4.2.4	电话控制协议	80
4.3	实验设备与软件环境	87
4.4	实验内容	87

4.5	实验步骤	88
4.5.1	连接网关和终端的硬件设备	88
4.5.2	网关安装驱动程序	88
4.5.3	初始化	88
4.5.4	终端发起建立连接	90
4.5.5	呼出操作	91
4.5.6	呼入操作	91
4.5.7	重复多次呼入呼出操作	93
4.5.8	结束实验	93
4.6	预习要求	93
4.7	实验报告要求	93
4.8	思考题	93
4.9	附录	94
第 5 章	蓝牙局域网接入	95
5.1	引言	95
5.2	基本原理	95
5.2.1	串行通信与 PPP 协议	95
5.2.2	网际协议与网络互连	98
5.2.3	计算机无线联网	106
5.3	实验设备与软件环境	109
5.4	实验内容	109
5.5	实验步骤	110
5.5.1	用串口电缆进行局域网的有线接入	110
5.5.2	用蓝牙硬件平台实现无线接入	113
5.6	预习要求	116
5.7	实验报告要求	116
5.8	思考题	116
第 6 章	蓝牙无线多点组网	117
6.1	引言	117
6.2	基本原理	117
6.2.1	通信网的基本结构及构成要素	117
6.2.2	计算机网络结构	118
6.2.3	网络节点	119
6.2.4	路由技术	119

6.2.5 组网过程	120
6.2.6 广播和组播	125
6.3 实验设备与软件环境	125
6.4 实验内容	125
6.5 实验步骤	128
6.5.1 启动	128
6.5.2 配置	129
6.5.3 组网	130
6.5.4 单播	131
6.5.5 组播	133
6.5.6 广播	133
6.6 预习要求	134
6.7 实验报告要求	134
6.8 思考题	134
第 7 章 Zigbee 协议栈与 CSMA/CA 机制	135
7.1 引言	135
7.2 基本原理	135
7.2.1 Zigbee 技术发展概况	135
7.2.2 Zigbee 技术优势	136
7.2.3 Zigbee 协议栈	137
7.2.4 物理层数据包结构	138
7.2.5 MAC 层帧结构	139
7.2.6 应答 ACK 帧	140
7.2.7 CSMA/CA 机制	141
7.3 实验设备与软件环境	143
7.4 实验内容	144
7.5 实验步骤	144
7.5.1 物理层组包	144
7.5.2 数据接收和地址译码	144
7.5.3 应答 ACK 帧	148
7.5.4 CSMA/CA 机制	151
7.6 预习要求	154
7.7 实验报告要求	154
7.8 思考题	154

第 8 章 Zigbee 无线组网	155
8.1 引言	155
8.2 基本原理	155
8.2.1 Zigbee 基本名词解释	155
8.2.2 Zigbee 组网过程	156
8.2.3 Zigbee 网络拓扑	158
8.2.4 Zigbee 组建网络程序	161
8.3 实验设备与软件环境	163
8.4 实验内容	163
8.5 实验步骤	164
8.5.1 烧写程序	164
8.5.2 串口设置	165
8.5.3 启动主节点	166
8.5.4 加入从节点	166
8.5.5 建立不同拓扑结构的网络	168
8.6 预习要求	169
8.7 实验报告要求	169
8.8 思考题	169
第 9 章 基于 Zigbee 技术的无线传感器网络	170
9.1 引言	170
9.2 基本原理	170
9.2.1 概述	170
9.2.2 无线传感器网络结构	171
9.2.3 传感器节点结构	172
9.2.4 无线传感器网络路由协议	173
9.2.5 无线传感器网络应用	177
9.2.6 基于 Zigbee 技术的无线传感器网络实验平台	179
9.3 实验设备与软件环境	181
9.4 实验内容	181
9.5 实验步骤	182
9.6 预习要求	186
9.7 实验报告要求	187
9.8 思考题	187

第 10 章	RFID 基本读写与性能分析	188
10.1	引言	188
10.2	基本原理	188
10.2.1	RFID 系统基本模型	188
10.2.2	RFID 工作原理	189
10.2.3	RFID 通信接口	192
10.2.4	RFID 性能分析	196
10.3	实验设备与软件环境	197
10.4	实验内容	197
10.5	实验步骤	199
10.5.1	RFID 基本读写	199
10.5.2	RFID 性能分析	204
10.6	预习要求	207
10.7	实验报告要求	207
10.8	思考题	207
第 11 章	基于 RFID 技术的智慧校园应用	208
11.1	引言	208
11.2	基本原理	208
11.2.1	Zigbee 无线网络	208
11.2.2	RFID 无线读写系统	209
11.2.3	RFID 技术的典型应用	209
11.2.4	RFID 技术的特点	211
11.2.5	RFID 技术的发展历程	212
11.3	实验设备与软件环境	213
11.4	实验内容	213
11.5	实验步骤	214
11.5.1	下载程序	214
11.5.2	连接硬件	214
11.5.3	实验软件操作	215
11.6	预习要求	221
11.7	实验报告要求	221
11.8	思考题	222
第 12 章	基于 RFID 技术的智能医护应用	223
12.1	引言	223

12.2	基本原理	224
12.2.1	Zigbee 无线网络	224
12.2.2	RFID 技术	224
12.2.3	心率传感器	224
12.3	实验设备与软件环境	228
12.4	实验内容	228
12.5	实验步骤	231
12.5.1	下载程序	231
12.5.2	建立网络	232
12.6	预习要求	239
12.7	实验报告要求	240
12.8	思考题	240
参考文献		241

第 1 章 蓝牙数字基带仿真

1.1 引言

基带信号处理是通信系统研究的重要内容，但是理论性较强，学生难以形成感性认识。针对这种情况，我们设计了蓝牙数字基带仿真实验。本章首先介绍蓝牙技术的发展概况、特点及其组成，然后重点介绍蓝牙基带系统，包括基带部分的物理链路、逻辑信道、发送/接收处理和时隙等概念，在此基础上研究蓝牙基带系统的包结构和差错控制方法，以及扩频跳频、保密通信等原理及其实现方法，并且以蓝牙基带部分的工作原理为例，通过对蓝牙基带差错控制、跳频原理和加密技术的软件仿真，使学生能够直观认识和理解一般通信系统的基带工作原理及其实现方法。

1.2 基本原理

1.2.1 蓝牙技术发展概况

蓝牙的英文名称是 Bluetooth，是 1998 年 5 月由爱立信、IBM、Intel、诺基亚和东芝 5 家著名厂商，在联合开展短程无线通信技术的标准化活动时提出的，其宗旨是提供一种短距离、低成本的无线传输应用技术。上述 5 家公司还组建了蓝牙特别兴趣组 (Special Interest Group, SIG) 来负责蓝牙技术标准的制订、产品的测试以及协调各国蓝牙使用频段的一致。1999 年下半年，微软、摩托罗拉、3COM、朗讯等公司与 SIG 的 5 家公司共同发起成立了蓝牙技术推广组织，从而在全球范围内掀起了一股“蓝牙”热潮。一大批基于蓝牙技术的应用产品随之出现，使蓝牙技术呈现出极其广阔的市场前景。截至目前，SIG 包括 200 多家联盟成员公司及约 6000 家应用成员企业。

截止 2010 年 7 月，蓝牙 SIG 已经发布了 1.1、1.2、2.0、2.1、3.0 以及 4.0 共 6 个版本的蓝牙技术标准。1.1 版本的蓝牙技术标准支持的数据传输速率在 748~810Kb/s 范围内，此后，基于该版本的蓝牙技术标准，电气电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 与蓝牙 SIG 共同合作完成了 IEEE 802.15.1 标准，它可以同蓝牙 1.1 标准完全兼容。1.2 版本的蓝牙技术标准同样支持 748~810Kb/s 的传输速率，但增加了抗干扰跳频功能。2.0 版本是 1.2 版本的改良提升版，

支持的传输速率在 1.8~2.1Mb/s 范围内,并开始支持双工模式以及高像素图片传输。2009 年 4 月,蓝牙 SIG 正式颁布了蓝牙核心规范 3.0 版,蓝牙 3.0 通过集成 IEEE 802.11 协议适应层,将数据传输速率提高到了大约 24Mb/s,可以支持录像机至高清电视、笔记本电脑至便携式媒体播放器,以及笔记本电脑至打印机之间的资料传输。2010 年 7 月,蓝牙特别兴趣组正式颁布蓝牙 4.0 核心规范。蓝牙 4.0 实际是个三位一体的蓝牙技术,它将传统蓝牙、低功耗蓝牙和高速蓝牙技术合而为一,这 3 种规格可以组合或者单独使用。蓝牙 4.0 以低功耗技术为核心,不但继承了蓝牙技术无线连接的所有固有优势,同时还增加了低功耗蓝牙和高速蓝牙的特点,极大拓展了蓝牙技术的市场潜力。

1.2.2 蓝牙技术特点

蓝牙的目标是在所有移动设备之间以及任何小范围的各种信息传输设备、各种电器设备之间建立无线连接。其主要特点如下。

1. 全球范围适用

蓝牙工作在 2.4GHz 免付费、全球通用的工业、科学和医疗 (Industrial, Scientific and Medical, ISM) 频段,使用该频段无需向各国的无线电资源管理部门申请许可证。

2. 可同时传输语音和数据

蓝牙支持一条异步数据信道,或三条并发的同步语音信道,或一条同时传送异步数据和同步语音的信道。其中每条语音信道可以支持 64Kb/s 的信息流,语音信号采用对数脉冲编码调制 (Pulse Code Modulation, PCM) 或连续可变斜率增量调制 (Continuous Variable Slope Delta Modulation, CVSD)。

3. 支持点对点或点对多点的连接

蓝牙技术支持点对点和点对多点的通信,采用的是 Ad-hoc 的组网方式。在建立网络之前,所有蓝牙设备的地位都是平等的,只有当某个蓝牙设备首先主动发起建链操作时,该设备才成为主设备,而被动链接的设备成为从设备。一个主设备可以和至多 7 个处于激活模式的从设备同时保持连接。

4. 具有很好的抗干扰能力

蓝牙采取了跳频 (Frequency Hopping, FH) 方式来扩展频谱,以抵消来自 ISM 频段其他无线电设备的干扰。蓝牙将 2400~2483.5MHz 的频段分成 79 个频点,每两个相邻频点间隔 1MHz。当蓝牙设备处于不同的工作状态时,就按照不同的跳频序列,载波频率在不同的频点间进行跳变。

5. 微小的功耗

蓝牙设备在通信连接状态下,有4种工作模式,分别是激活模式、呼吸模式、保持模式和休眠模式。激活模式是正常的工作状态,另外3种模式是为了节能所规定的低功耗模式。蓝牙4.0则更加强化了蓝牙在数据传输上的低功耗性能,实现了超低的峰值、平均和待机模式功耗。

6. 小型化和低成本

蓝牙集成电路应用简单,成本低廉,实现容易,并且具有很强的移植性,可应用于多种通信场合。由于蓝牙模块的体积很小,可以很方便地嵌入个人移动设备中,真正实现将网络随身携带。

1.2.3 蓝牙系统组成

蓝牙系统由射频单元、链路控制器、基带(Baseband)资源管理器、链路管理器和主机组成,其结构如图1.1所示。链路控制器实现蓝牙基带协议和低层的链路操作,负责蓝牙基带数据的组包和拆包。蓝牙基带资源管理器负责对无线媒体的接入,主要有两个功能:对基带各功能实体接入无线媒体的时间进行调度;与各功能实体协商物理信道接入。链路管理器实现了链路管理协议(Link Management Protocol, LMP),它把来自运行于主机中的蓝牙协议栈的命令转化成基带的操作,负责建链、拆链、链路配置和链路安全等操作。主机中运行了蓝牙协议栈和上层应用程序。蓝牙协议栈是一个独立的作业系统,不与任何操作系统捆绑。和许多通信系统一样,蓝牙的通信协议采用层次结构,其底层为各类应用所通用,高层则视具体应用而有所不同。



图 1.1 蓝牙系统结构

蓝牙链路控制器、基带资源管理器和链路管理器实现了蓝牙基带层的所有功能。蓝牙基带规定了无线媒体接入和物理层通信过程,以支持实时语音和数据信息流的交互,还定义了蓝牙设备之间建链、组网的过程。蓝牙基带中实时语音和数据信息流的传输过程与一般数字通信系统点到点的物理层通信过程是一致的。图1.2给出了蓝牙基带层语音/数据信号的发送和接收过程,发送端包括语音/数据编码、组包、信道编码、调制等过程,而接收端包括解调、信道译码、拆包、语音/数据解码等过程。

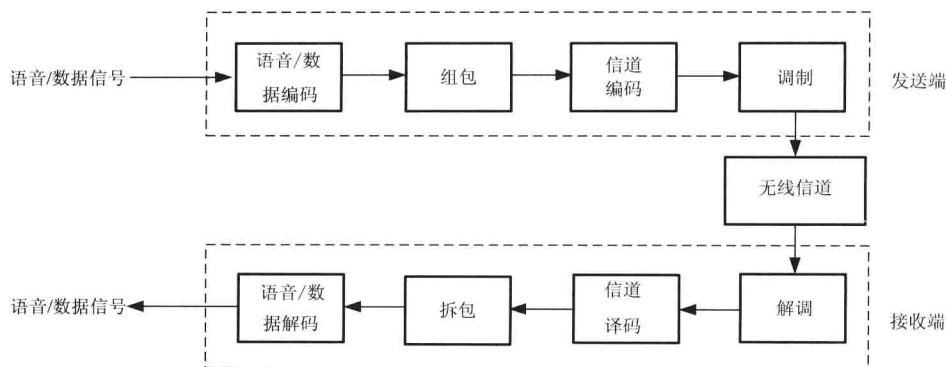


图 1.2 蓝牙基带语音/数据信号的发送和接收过程

1.2.4 蓝牙基带系统介绍

1. 蓝牙微微网与信道划分

蓝牙通信网络的基本单元是微微网，由一个主设备和至多 7 个从设备组成，在同一区域中可以有多个微微网，相互连接在一起构成分布式网络。由于每个微微网的主设备是不同的，所以跳频序列和相位是独立的。如果同一区域中有多个微微网共存，一个蓝牙设备可以利用时分复用工作在多个网络中。

蓝牙系统工作在 2.4GHz 的 ISM 频段上，它的工作频段为 2400~2483.5MHz，使用 79 个频点，射频信道为 $2402+k\text{MHz}$ ($k=0, 1, \dots, 78$)。

在蓝牙的微微网中，主动发起链接的设备称为主设备，被动链接的设备称为从设备。微微网中信道的特性完全由主设备决定，主设备的蓝牙地址(BD_ADDR)决定了跳频序列和信道接入码；主设备的系统时钟决定了跳频序列的相位和时间。

每个蓝牙设备都有一个内部系统时钟，用来决定传送的时间和跳频频率。为了与其他蓝牙设备同步，只在本地时钟上加偏移，提供临时时钟，使它们相互同步。时钟速率为 3.2 kHz。在蓝牙的不同工作状态，设备所使用的时钟有本地时钟(CLKN)、估计时钟(CLKE)、主设备时钟(CLK)。在微微网的信道中，跳频频率由主设备时钟决定，每个从设备加一个偏差到它的本地时钟，以与主时钟同步。CLKN 是自由运转的本地时钟，是其他所有时钟的参考。CLK 是微微网中主设备的时钟，在连接状态，所有蓝牙设备使用 CLK 来确定它们的发送和接收时间，它是在 CLKN 中加上偏移量来得到的。每个从设备在自己的 CLKN 中加上合适的偏差来与 CLK 同步。

在每个微微网中，一组伪随机跳频序列被用来决定 79 个跳频信道，这个跳频序列对于每个微微网来说是唯一的，由主设备地址和时钟决定。信道分成时隙，每个时隙相应有一个跳频频率，通常跳频速率为 1600 跳/秒。

蓝牙系统的信道以时间长度 $625\mu\text{s}$ 划分时隙，根据微微网主设备的时钟对时隙

进行编号, 号码从 0 到 $2^{27}-1$, 以 2^{27} 为一个循环长度。系统使用一个时分双工 (Time Division Duplex, TDD) 方案来使主设备和从设备交替传送, 如图 1.3 所示 ($f(k)$ 表示跳频序列)。主设备只在偶数的时隙开始传送信息, 从设备只在奇数的时隙开始传送, 信息包的开始与时隙的开始相对应。

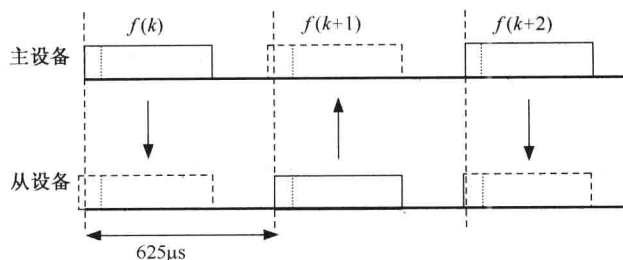


图 1.3 TDD 方案示意图

2. 物理链路和逻辑链路

蓝牙系统可以在主/从设备间建立不同形式的物理链路, 定义了两种方式: 实时的同步面向连接 (Synchronous Connection-Oriented, SCO) 方式和非实时的异步无连接 (Asynchronous Connection-Less Link, ACL) 方式。对于 SCO, 主设备和从设备在规定的时隙传送话音等实时性强的信息, 所发送的 SCO 包不被重传; 而对于 ACL, 主设备和从设备可在任意时隙传输, 以数据为主, 为保证数据的完整性和正确性, ACL 包可被重传。

3. 蓝牙基带包结构及发送/接收处理

1) 包的一般格式

在信道中数据以包的形式传输, 其一般形式如图 1.4 所示, 通常分为 3 部分, 即接入码、包头和有效载荷。基带包的种类很多, 有些用于传输语音信息, 有些用于传输数据信息; 根据信道质量的不同, 可以对包采用各种差错控制以获得需要的传输质量。



图 1.4 包的一般格式

(1) 接入码。接入码的长度通常是固定的, 由网络的设备地址生成。对蓝牙设备而言, 每个蓝牙设备都分配有一个独立的 48 比特的设备地址 **BD_ADDR**, 分为 3 部分: 地址的低 24 比特部分 **LAP** (Low Address Part); 地址的高位 8 比特部分 **UAP** (Upper Address Part) 和 16 比特的非有效地址部分。在蓝牙系统中, 接入码由头码、