

21 世纪高等院校教材

通信新技术及其实验

沈连丰 主编

宋铁成 徐平平 刘云 胡静 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

通信新技术及其实验

沈连丰 主 编

宋铁成 徐平平 刘 云 胡 静 编 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是将科研成果应用于教学的一种尝试,重点论述通信的若干新技术并给出对应的实验。全书共分为10章,包括:数字基带仿真,服务发现,局域网接入,电话网接入,语音传输,数据传输,无线多点组网,通信传输的有效性和可靠性分析,数字图像的采集传输和处理以及 GSM/GPRS 接入等。书中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。它不仅是一本实验指导书,同时也是一本涵盖了众多通信知识点的基础教材,充分体现了通信与计算机的紧密结合、硬件和软件的紧密结合以及系统和网络的概念。学生通过全面参与来体验这些新技术,而每一个实验又可延伸为研究开发平台进而进行新的研究。

本书可作为高等院校通信、信息、电子、自动控制、计算机科学与工程等专业本科生或研究生“通信新技术及其实验”课程的配套教材,也可作为相关技术、科研和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信新技术及其实验/沈连丰主编;宋铁成等编著. —北京:科学出版社, 2003

(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-012141-4

I. 通… II. ①沈… ②宋… III. 通信技术:新技术-实验-高等学校-教材 IV. TN91-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077344 号

责任编辑:匡 敏 钟 谊/责任校对:林青梅
责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年9月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2003年9月第一次印刷 印张:16.34

印数:1 3 000 字数:332 000

定价:24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

IT 业对人才的巨大需求直接引发了高校 IT 相关专业的扩招。在通信技术日新月异的今天,如何让学生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,进而提高学生就业的竞争力,是高校教学改革的重要内容之一。东南大学移动通信国家重点实验室以及依托实验室建立的南京东大移动互联技术有限公司,先后承担了江苏省“十五”重大科技攻关项目“CDMA 无线接入系统”、国家“十五”科技攻关项目“基于蓝牙技术的无线接入系统”、国家自然科学基金、教育部重点科学研究等项目以及与 Motorola 等公司的合作项目,对 Bluetooth、IEEE802.11、HiperLAN 及 LMDS 等技术进行了较深入的研究。2002 年初,香港中文大学电子工程学系购买我们研制的基于蓝牙技术的各类接入设备数十套(包括硬件和软件),用于本科生的教学、实验以及研究生的课题研究,另外,国内一些大学希望我们为他们设计以蓝牙技术为代表的现代通信技术教学实验。鉴于这一需求,结合我们的教学和科研实践,我们于 2002 年设计了“现代通信技术教学实验平台”,并逐步将其演变成目前的这套系列实验,试图把科研工作中的成果和体会应用到教学实践中,以实验的方式让学生对这些近年提出的新技术有一个感性的认识,在实验中让学生参与进来,通过亲手进行硬件电路的修改和制作、软件程序的局部修改/编译/编写、结合自己的实际研制开发新设备、拓展新应用等,使学生对无线接入乃至各类现代通信系统的基本原理、体系结构、实现方法等有切身的感受和实际的经验。经过一年多的实践,我们有理由相信这条路对于学生掌握最新技术、理论联系实际、提高学校的教学质量和增强学生的就业竞争力,已经起到了积极作用。

本系列实验选用蓝牙技术为主要物理平台。蓝牙技术是一种短距离无线通信的标准,可以使蜂窝电话系统、无绳电话系统、无线局域网和因特网等现有网络增添新的功能,能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(包括数字照相机、数字摄像机等)甚至各种家用电器,通过一种廉价的无线电缆方法互相连接起来,增添其无线传输和组网的功能,方便地形成个域网。因此,它的应用几乎可以渗透到所有通信及信息传输领域,具有极为广泛的应用前景。以这种小区域无线接入技术作为教学示范,足以让学生以小见大,更快更好地建立系统级、网络级的概念。

本书涉及的知识点较多,因此它不仅是一本实验指导书,同时也是一本涵盖了众多通信知识点的基础教材。全书共分为 10 章,各章的内容简介如下:

第 1 章为数字基带仿真,用仿真的方法给出了无线通信系统基带传输中信源

编码、差错控制编码、保密通信以及扩频通信的基本概念、原理和方法。

第2章为服务发现,通过具体的蓝牙服务发现协议说明了网络的服务发现机制、数据的表示方式和服务发现的工作流程,使学生理解典型的客户-服务器工作模式以及查询服务与协调应用等概念。

第3章为局域网接入,介绍无线采集端设备接入局域网或者 Internet 的工作过程,使学生了解计算机通信网和 Windows 设备驱动程序的知识,明了串口通信的过程,理解局域网从有线接入到无线接入的实现原理。

第4章为电话网接入,介绍无线采集端设备的 TCS 信令和 PSTN 电话网接入系统的实现模式以及 PSTN 电话网关和无线语音采集端的工作过程,使学生通过实验理解 PSTN 电话网的 DTMF 信令的交换流程。

第5章为语音传输,介绍蓝牙技术支持的三种语音编码方式及其差别,让学生通过实验和实际编程理解语音传输与数据传输的异同、随机错误和突发错误以及分组交换和电路交换等概念。

第6章为数据传输,介绍协议分层概念、上下层与对等层概念、逻辑链路与物理链路的区别、面向连接和面向无连接的服务、自环与广播等。通过精简的 OBEX 协议,使学生理解协议实现的多样性和互操作性,并且通过实际编程来实现一个上层应用和本实验中的程序进行通信。

第7章为无线多点组网,学生通过利用已有的多个设备组网,学习无线组网的基本原理及相关概念,理解点对多点的网络、Ad hoc 网络多跳转接的拓扑结构、组网过程、简单的路由协议以及广播和组播的相关知识。

第8章为通信传输的有效性和可靠性分析,介绍点对点数据传输中的流量控制、差错控制与共享信道的基本方法、停止-等待协议、连续 ARQ 协议,分析信道利用率和最佳帧长,通过对不同通信口的测试,使学生体会流量控制、差错控制对通信有效性和可靠性的综合影响;通过仿真受控接入中的轮叫轮询、传递轮询以及随机接入中的 ALOHA、CSMA 和 CSMA/CD 机制来比较各种机制的性能。

第9章为数字图像的采集传输和处理,介绍数字图像的采集、传输过程以及数字图像的压缩与传输方法,使学生掌握简单的数字图像处理的方法,如伪彩、平滑、锐化及图像增强等。

第10章为 GSM/GPRS 接入,介绍 GSM/GPRS 的基本组成、协议结构、接续流程、信令流程以及话音、短消息、WAP 等各类网络服务的实现,学生可以通过 AT 命令操作 GSM/GPRS 模块,深入理解 GSM/GPRS 客户端的工作过程。

本书在原讲义的基础上经多轮修改而成,深入浅出地给出了每个实验所涉及到的实验原理,详细说明了实验设备与环境、实验内容及实验步骤等,对每个实验都有预习和完成实验报告的要求,还安排了课后思考题。书中的大部分实验已申请了专利。我们力图在本书中体现通信与计算机的紧密结合、硬件和软件的紧密结合以及系统和网络的概念,学生通过全面参与来体验这些新技术,而每一个实验均可

延伸为研究开发平台进而开展新的研究。此外,为了配合教学,本书还将出版配套光盘,光盘中将包括本书索引和电子课件等内容;本书的索引还将放在以下网站上:<http://www.sciencep.com> 及 <http://www.semit.com.cn>。这些都是本书的特色所在。

本书可作为高等院校通信、信息、电子、自动控制、计算机科学与工程等专业本科生或研究生“通信新技术及其实验”课程的配套教材,建议课程安排 40 学时,2 个学分,其中实验授课 10 学时,实验辅导 30 学时,要求学生每次实验后都要认真撰写并提交实验报告。教学中可以根据实际需要和学生的知识背景安排各部分实验,可以分成演示学习、学生动手操作和研发设计三个层次。

本书由沈连丰主编,宋铁成、徐平平、刘云、胡静等共同编著,叶芝慧、肖婕、宋扬、夏玮玮、鲍淑娣、王大伟、陆苏、陈小硕、顾敏敏、黄慧研、吴小安、王伟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无线电工程系和移动通信国家重点实验室设计和研制,20 多位博士、硕士研究生以及南京东大移动互联技术有限公司的研发人员参与了系列实验软、硬件的设计与开发。香港中文大学陈锦泰教授、中国科学技术大学朱近康教授、浙江大学黄爱苹教授、上海交通大学罗汉文教授、东南大学吴镇扬教授、东北大学傅仲述教授、南京工程学院陆履豪教授、杭州商学院任志国教授等对实验内容和讲义提出了很多很好的建议并参与了其中部分研究工作,许多兄弟院校的老师在使用本书系列实验和原讲义时给出了许多修改意见,东南大学教务处、研究生院和无线电工程系的领导对我们的工作给予了大力支持和指导。因此,本书及其实验是集体智慧的结晶,在此向支持我们工作及对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。但是,通信技术的发展日新月异,将之引入教学实践是一项富有挑战且永无止境、使命感极强的工作,限于时间和水平,实验平台的设计开发以及本书的内容可能存在不少缺点或错误,不足之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2003 年 5 月

目 录

前 言

第 1 章 数字基带仿真	1
1.1 引言	1
1.2 基本原理	1
1.2.1 概述	1
1.2.2 蓝牙基带系统介绍	2
1.2.3 差错控制编码	7
1.2.4 跳频扩频原理及算法	11
1.2.5 通信系统安全性	14
1.3 实验设备与软件环境	18
1.4 实验内容	18
1.4.1 蓝牙基带包的差错控制技术	18
1.4.2 蓝牙系统的跳频原理	18
1.4.3 数据流的加密与解密	18
1.4.4 编程实验(可选)	18
1.5 实验步骤	18
1.5.1 差错控制实验	18
1.5.2 跳频扩频实验	20
1.5.3 加密解密实验	21
1.6 预习要求	23
1.7 实验报告要求	23
思考题	23
参考文献	24
第 2 章 服务发现	25
2.1 引言	25
2.2 基本原理	25
2.2.1 服务发现简介	25
2.2.2 客户机-服务器的交互模型	26
2.2.3 数据元的编解码	26
2.2.4 工作流程和协议数据单元(PDU)的交互	32
2.3 实验设备与软件环境	40
2.4 实验内容	41

2.4.1	服务发现的工作模式	41
2.4.2	数据元的编解码	41
2.4.3	PDU 的数据分析	41
2.5	实验步骤	41
2.5.1	服务注册	41
2.5.2	客户发现	43
2.6	预习要求	45
2.7	实验报告要求	45
	思考题	46
	参考文献	46
	附录	46
第3章	局域网接入	50
3.1	引言	50
3.2	基本原理	50
3.2.1	串行通讯与 PPP 协议	50
3.2.2	网际协议(IP)与网络互联	53
3.2.3	计算机无线联网	61
3.3	实验设备与软件环境	65
3.4	实验内容	66
3.4.1	用串口电缆进行有线接入	66
3.4.2	蓝牙无线接入	66
3.5	实验步骤	66
3.5.1	用串口电缆进行局域网的有线接入	66
3.5.2	用蓝牙硬件平台实现无线接入	69
3.6	预习要求	72
3.7	实验报告要求	72
	思考题	73
	参考文献	73
第4章	电话网接入	74
4.1	引言	74
4.2	基本原理	74
4.2.1	公用电话交换网络	74
4.2.2	电话工作原理	75
4.2.3	基于蓝牙技术的 PSTN 接入系统	76
4.2.4	电话控制协议(TCS)	77
4.3	实验设备与软件环境	84
4.4	实验内容	85
4.5	实验步骤	85

4.5.1 连接网关和终端的硬件设备	85
4.5.2 网关端安装驱动程序	86
4.5.3 初始化	86
4.5.4 终端发起建立连接	87
4.5.5 呼出操作	89
4.5.6 呼入操作	90
4.5.7 重复 4.5.5 节、4.5.6 节操作	90
4.5.8 断开连接	90
4.5.9 重复 4.5.4 节、4.5.5 节、4.5.6 节操作	90
4.5.10 关闭程序,结束实验	90
4.6 预习要求	91
4.7 实验报告要求	91
思考题	92
参考文献	92
附录	92
第 5 章 语音传输	93
5.1 引言	93
5.2 基本原理	93
5.2.1 脉冲编码调制	93
5.2.2 增量调制	102
5.2.3 蓝牙设备的语音和数据传输	106
5.3 实验设备与软件环境	107
5.4 实验内容	107
5.5 实验步骤	108
5.5.1 语音编码	108
5.5.2 语音传输	108
5.5.3 软件编程(可选)	111
5.6 预习要求	112
5.7 实验报告要求	112
思考题	112
参考文献	112
附录	113
第 6 章 数据传输	115
6.1 引言	115
6.2 基本原理	115
6.2.1 网络的体系结构	115

6.2.2	协议与体系结构	116
6.2.3	计算机数据传输基本概念	120
6.2.4	数据传输实验中设计的协议层	123
6.3	实验设备与软件环境	136
6.4	实验内容	136
6.4.1	协议体系结构	136
6.4.2	表示会话层	137
6.4.3	数据链路层	137
6.4.4	面向连接与面向无连接的服务	137
6.4.5	自环与广播	137
6.5	实验步骤	138
6.5.1	面向连接的操作	141
6.5.2	面向无连接的操作	142
6.5.3	自环	142
6.5.4	软件编程(可选)	143
6.6	预习要求	143
6.7	实验报告要求	144
	思考题	144
	参考文献	144
	附录	144

第7章 无线多点组网

7.1	引言	147
7.2	基本原理	147
7.2.1	通信网的基本结构及构成要素	147
7.2.2	计算机网络结构	148
7.2.3	网络节点	149
7.2.4	路由技术	149
7.2.5	组网过程	150
7.2.6	广播和组播	155
7.3	实验设备与软件环境	155
7.4	实验内容	156
7.4.1	组网过程	156
7.4.2	单跳与多跳转接	157
7.4.3	路由协议	157
7.4.4	广播	157
7.4.5	组播	158

7.5 实验步骤	159
7.5.1 启动	159
7.5.2 配置	159
7.5.3 组网	160
7.5.4 单播	161
7.5.5 组播	164
7.5.6 广播	164
7.6 预习要求	165
7.7 实验报告要求	165
思考题.....	165
参考文献.....	166
第8章 通信传输的有效性和可靠性分析.....	167
8.1 引言	167
8.2 基本原理	167
8.2.1 流量控制	167
8.2.2 误码和差错控制	172
8.2.3 信道共享技术	173
8.3 实验设备与软件环境	180
8.4 实验内容	180
8.4.1 性能仿真	180
8.4.2 数据速率	180
8.4.3 文件传输	182
8.5 实验步骤	182
8.5.1 性能仿真	182
8.5.2 速率测试	183
8.5.3 文件传输	184
8.6 预习要求	185
8.7 实验报告要求	185
思考题.....	186
参考文献.....	186
第9章 数字图像的采集传输和处理.....	187
9.1 引言	187
9.2 基本原理	187
9.2.1 数字图像的采集	187
9.2.2 数字图像的传输	189
9.2.3 数字图像的处理	193

9.3	实验设备与软件环境	201
9.4	实验内容	202
9.4.1	图像采集	202
9.4.2	图像处理	202
9.4.3	软件编程	202
9.5	实验步骤	202
9.5.1	连接硬件设备	202
9.5.2	建立蓝牙连接	202
9.5.3	图像采集	203
9.5.4	图像处理	205
9.5.5	软件编程(可选)	206
9.6	预习要求	207
9.7	实验报告要求	207
	思考题	207
	参考文献	208
	附录	208
第 10 章	GSM/GPRS 接入	211
10.1	引言	211
10.2	基本原理	211
10.2.1	GSM 系统	211
10.2.2	GPRS 技术	224
10.2.3	基于 GPRS 的 WAP 应用	233
10.2.4	GSM AT 命令集	236
10.3	实验设备与软件环境	240
10.4	实验内容	240
10.5	实验步骤	241
10.5.1	配置主机和 GSM/GPRS 硬件模块	241
10.5.2	网络服务	244
10.5.3	AT 命令	248
10.5.4	GSM/GPRS 信令仿真	248
10.6	预习要求	248
10.7	实验报告要求	249
	思考题	249
	参考文献	249
	附录(缩略语)	249

第 1 章 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,但是其理论性较强,学生难以形成感性认识。针对这种情况,我们设计了数字基带仿真实验。本章首先介绍了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,在此基础上着重研究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。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,学生能够直观认识一般通信系统的基带工作原理及其实现方法,理解通信系统特别是无线通信系统对基带信号的处理方法和目的,掌握通信系统的基带传输中诸如差错控制、扩频通信以及保密通信的基本概念、原理和方法。

1.2 基本原理

1.2.1 概述

通信系统的一般模型如图 1.1 所示,包括信源、发送设备、信道、接收设备、信宿以及噪声源。其中,信源的作用是把各种可能消息转换成原始信号;发送设备将原始信号变换为便于传输的信号,其功能可以包括信源编码、加密、信道编码(差错控制编码)和调制等;信道是指信号的传输媒介,可以是无线或有线的;接收设备的功能与发送设备相反,能从接收信号中恢复出相应的原始信号;信宿的功能是将复原的原始信号转换成相应的消息;噪声源是分散在通信系统各处的噪声以及其他系统对本系统干扰的集中表示。

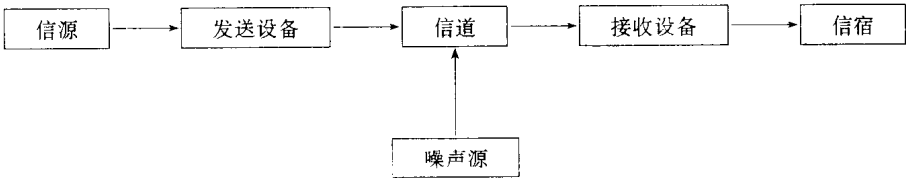


图 1.1 通信系统的一般模型

1.2.2 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。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在多个网络中工作。

蓝牙系统工作在 2.4GHz 的工业、科学和医疗 (ISM, Industrial Scientific Medical) 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, Bluetooth Device-ADDRESS) 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,我们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 3.2kHz。在蓝牙的不同工作状态,设备所使用的时钟有本地时钟 (CLKN, CLocK Native)、估计时钟 (CLKE, CLocK Estimate)、主设备时钟 (CLK, CLocK)。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上,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 上加上偏移量来得到的。每个从设备在自己的 CLKN 上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惟一的,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/s。

蓝牙系统的信道以时间长度 $625\mu\text{s}$ 来划分时隙,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 (TDD, Time Division Duplex) 方案来使主设备和从设备交替传送,如图 1.2 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。

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,共定义了两种方式:实时的同步面向连接 (SCO, Synchronous Connection-Oriented) 方式和非实时的

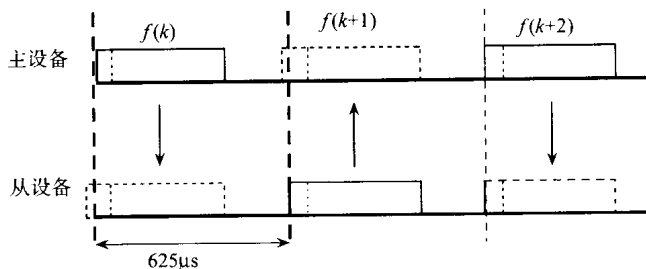


图 1.2 TDD 方案示意图

异步无连接(ACL, Asynchronous Connection-Less)方式。对于 SCO, 主设备和从设备在规定的时隙传送语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 1.3 所示, 通常分为三个部分, 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 1.3 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 48bits 的设备地址 BD_ADDR, 分为三个部分: 地址的低位 24bits 部分(LAP, Low Address Part), 地址的高位 8bits 部分(UAP, Upper Address Part)和 16bits 的非有效地址部分。在蓝牙系统中, 接入码由头码、同步字和尾码三部分组成, 共 72bits。蓝牙系统共定义了三种不同的接入码形式: 信道接入码(CAC, Channel Access Code), 设备接入码(DAC, Device Access Code), 探测接入码(IAC, Inquiry Access Code)。

2) 包头。包头包含了重要的链路控制信息, 由于包头的重要性, 通常需要对整个包头采用纠错编码技术加以保护。在蓝牙系统中, 包头分为六个部分, 共 18bits, 如图 1.4 所示, 然后再用 1/3 前向纠错(1/3 FEC, 1/3 Forward Error Correction Code)进行编码, 形成 54bits。

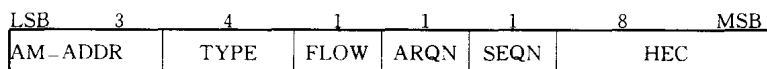


图 1.4 包头格式

图 1.4 中,AM-ADDR(Active Member Address)描述了微微网设备成员地址。TYPE 描述了设备的类型,用 4bits 定义了 16 种包的类型。FLOW 描述了对 ACL 链路包的流量控制。ARQN(Automatic Repeat reQuest Number)用来证实含有循环冗余校验(CRC,Cyclic Redundancy Check)的有效载荷数据的成功传输。SEQN(SEQuential Number)用于区分重发包。HEC(Header Error Check)被用来保证包的完整性。

3) 有效载荷。有效载荷是数据包传输中的有效信息部分,有效载荷的长度可以是固定的,也可以是可变的。根据信道的情况和实际需求,有效载荷可以采用各种检、纠错编码加以保护。为了提高信息传输速率,在信道条件较好或实时语音传输等情况下,也可以不对有效载荷采用检、纠错技术。

(2) 蓝牙基带包的类型

在蓝牙系统中使用 4bits 类型码(TYPE,图 1.4)来区分不同类型的包。

1) 公用包类型。共有五种类型的公用包,即标识(ID,Identity)包、空(NULL)包、查询(POLL)包、跳频同步(FHS,Frequency Hop Synchronization)包和中等速率数据 DM1(DM,Data-Medium rate data)包。ID 包由设备接入码(DAC)或探测接入码(IAC)构成,用于寻呼、查询和响应状态。FHS 包是一个特殊的控制包,包含发送设备的地址和时钟信息,在查询响应状态时,FHS 包不需要得到确认。

2) SCO 包。SCO 包不使用 CRC 校验,并且不需要重发,没有有效载荷头,一般用在传送同步(语音)信号中,根据信道条件及对语音质量的要求,可以使用高保真语音 HV1(HV,High quality Voice)、HV2、HV3 包。HV1 包使用 1/3 FEC 纠错,支持高质量语音。HV2 包使用 2/3 FEC 纠错,支持中等质量的语音传输。HV3 包不使用 FEC 纠错,支持高速语音传输。

3) ACL 包。ACL 包用在异步链路中,可以传递用户的数据,共定义了七种类型,其中六种有 CRC 码并可以重传。DM1 包只传送数据信息,支持中等速率的数据,采用 CRC 编码和 2/3 FEC 纠错。高等速率数据 DH1(DH,Data-High rate data)包与 DM1 包相似,除了有效载荷的信息部分外不需要 FEC 纠错,支持高速数据。

(3) 蓝牙基带包有效载荷

对于有效载荷格式,ACL 包只包括数据,SCO 包只包括语音。语音有效载荷的长度是固定的,没有有效载荷头。对于 HV 包,语音有效载荷长度是 240bits;对数据语音(DV,Data Voice)包,语音有效载荷长度是 80bits。数据有效载荷包括三个部分:有效载荷头、有效载荷信息、CRC 码。

(4) 发送/接收处理

蓝牙收发信机使用时分双工(TDD)方案。在一般连接状态,主设备在偶时隙(CLK1=0)开始传送,从设备在奇时隙(CLK1=1)开始传送。

在连接状态,蓝牙收发器交替发送和接收。如图 1.5 所示,图中显示的是占用单个时隙的包[$g(m)$ 表示跳频序列]。根据包的形式和有效载荷长度,包的长度最大可以到 $366\mu\text{s}$,每个发送和接收都在不同的跳频频率上。

在建立链接和主从设备转换中,主设备向从设备传送 FHS 包,该包确定了从设备与主设备在时间和频率上的同步。从设备接收到寻呼消息后,返回一个响应消息(由 ID 包组成)。当主设备在接收时隙收到从设备的响应后,就在发送时隙传送 FHS 包。

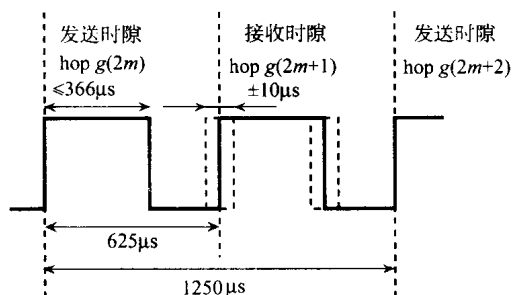


图 1.5 单时隙包的蓝牙主设备发送接收示意图

4. 蓝牙状态分析

蓝牙系统有两个主要工作状态(守候状态和连接状态)和 7 个中间临时状态(寻呼状态、寻呼扫描状态、查询状态、查询扫描状态、主设备响应状态、从设备响应状态和查询响应状态)。

守候状态是蓝牙设备的默认状态,设备处于低功耗状态,它可以每隔 1.28s 离开守候状态进入寻呼扫描或查询扫描状态,也可以进入寻呼或查询状态。

为了建立新的连接,要使用查询和寻呼处理。如果主设备知道一个设备的地址,就采用寻呼建立连接;如果地址未知,就采用查询建立连接。查询处理能使一个设备发现什么设备处于它的通信范围内以及它们的设备地址和时钟是什么,然后再经过寻呼处理,即可建立实际的连接。在连接状态,蓝牙设备可以处于一些次状态:激活状态、探测状态、保持状态及休眠状态。

(1) 寻呼扫描状态及其处理

在寻呼扫描状态,设备在扫描窗口中监听包含自己的设备接入码的 ID 包。设备根据自己的寻呼跳频序列来选择扫描频率,这是一个 32 跳频序列,其中每个跳频频率是惟一的,由设备的地址和本地时钟决定,每 1.28s 选择一个不同的频率。