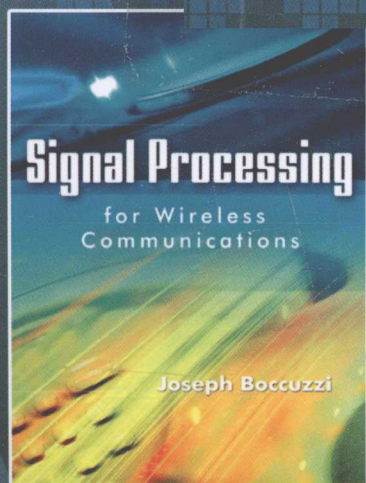


国外电子与通信教材系列

Mc  
Graw  
Hill Education

# 通信信号处理

Signal Processing for Wireless Communications



[美] Joseph Boccuzzi 著  
刘祖军 田 斌 易克初 译

 电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

# 通信信号处理

Signal Processing for Wireless Communications

[美] Joseph Boccuzzi 著

刘祖军 田 斌 易克初 译

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

内容简介本书针对当前无线网络的实际设计问题,重点论述无线通信系统中的信号处理概念与技术,包括基本理论、问题与算法以及最新应用。全书内容包括无线主题、调制、无线多径信道、调制检测技术、性能提升技术及接收机中的信号处理算法,还包括 3G WCDMA、3G 及 B3G 中的信号处理、计算机仿真评估技术等当前热门技术。内容系统完备,从理论和计算机仿真两方面来阐述概念,并配有丰富的图示。

本书适合作为通信工程和电子信息类相关专业的研究生教材,也适合作为从事数字无线通信研究与设计的教师、科研与工程技术人员的参考书。

Joseph Bocuzzi

Signal Processing for Wireless Communications

ISBN: 978-0-07-148905-8

Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Publishing House of Electronics Industry, All Rights Reserved.

本中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司和电子工业出版社合作出版,此版本经授权仅限在中国大陆销售。

版权©2010 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。

本书封底贴有 McGraw-Hill 公司防伪标贴,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2009-0646

### 图书在版编目(CIP)数据

通信信号处理/(美)博布兹(Bocuzzi,J.)著;刘祖军,田斌,马克初译. —北京:电子工业出版社,2010.3  
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Signal Processing for Wireless Communications

ISBN 978-7-121-10436-7

I. 通… II. ①博…②刘…③田…④易… III. 通信系统—信号处理—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 030855 号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 周宏敏

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 29.75 字数: 820 千字

印 次: 2010 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 55.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

## 作者简介

Joseph Boccuzzi 博士现任 Broadcom 公司首席系统设计科学家。他曾任 Infineon 公司架构和技术主任、Cadence 公司高级技术经理、AT&T Bell 实验室研究人员、Motorola 公司设计工程师、EATON 公司工程师。Boccuzzi 博士还教授电气工程研究生课程,在 IEEE、AT&T 及国际会议上已发表了许多论文,拥有 15 项美国和国际专利,曾为世界上许多机构做过讲演。

## 译 者 序

近 10 余年来无线通信得到了迅猛的发展,已成为社会信息化最重要的推动力量之一,也是当前信息产业的重要支柱。无线通信的不断发展正在全面改变着人们的生产和生活方式。而通信信号处理技术对无线通信的发展和应用起着至关重要的作用,对其深刻理解和掌握才能真正从根本上理解、应用和发展无线通信技术。我们翻译此书的目的,正是为了向广大无线通信从业人员、研究生和科研人员提供该领域中理论透彻、内容全面而又紧密结合实践的一本教科书。

Joseph Boccuzzi 博士的这本《通信信号处理》是其多年研究、实践和教学的总结。它关注于应用,详细讲解了无线通信中信号处理的基本概念和技术,全面考察了关键算法和标准演进路径在当今最先进无线网络设计和运营中所扮演的角色。本书针对当前无线网络的实际设计问题,重点论述无线通信系统中的信号处理概念与技术,包括基本理论、问题与算法及最新应用。全书内容包括无线主题、调制、无线多径信道、调制检测技术、性能提升技术及接收机中的信号处理算法,还包括 3G WCDMA、3G 及 B3G 中的信号处理,以及计算机仿真评估技术等当前热门技术。内容系统、完备,从理论和计算机仿真两方面来阐述概念,并配有丰富的图示。

本书适合作为通信工程和电子信息类相关专业的研究生教材,以及从事数字无线通信研究与设计的教师、科研与工程技术人员的参考书。

本书由西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室的老师组织翻译。其中,第 2 章、第 4 章及第 6 章至第 8 章由刘祖军翻译,第 1 章、第 3 章和第 5 章由田斌翻译,第 9 章由易克初翻译,刘祖军负责统校全书。原书有误的地方大都在译者注中标出,以便读者阅读原著时参考。西安电子科技大学研究生顾小昕、侯若阳、李雪、连豪、梁翠兰、刘彩苗、刘合焕、马晓凤、赵瀛洲、郑宜诚等协助译者做了大量工作,借此机会表示诚挚的谢意。本书的出版得到了高等学校学科创新引智计划(B08038)的资助,在此表示感谢。

由于时间仓促,加之译者水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,敬请广大读者和同行专家不吝指正。

# 前 言

数字无线通信的蓬勃发展为前所未有的通信容量需求及对全球移动性的支持奠定了基础。这种无所不在的系统增长迫使设计师们做出具有挑战性和有难度的技术决策。在任何领域,具有工程基础的决策将会占据优势并得到推广,这正是作者撰写这本书的原因。

本书覆盖的主题旨在让读者能较好地理解设计师们每天所面对的问题。本书一开始比较了不同调制方式、多径衰落信道和计算机仿真模型。随后对接收机中各种相干和非相干解调技术、增强系统性能的数字信号处理技术进行了详细描述和介绍。本书对 WCDMA 蜂窝系统及其演进进行了概述,并比较了在误码率估计中所采用的计算机仿真技术。本书适合作为电子工程领域研究生课程的教材,也适合作为从事数字无线通信系统的工程师和科学家们的参考书。

第 1 章回顾了一些过去和现在使用的无线通信系统。本章比较了一些系统设计选择,并确定了在可靠通信系统中所必需的系统参数。这些系统包括个域网、无线局域网、蜂窝通信系统和寻呼系统。本章还讨论了移动设备的发展趋势,以及在此背景下能够支持多种无线标准通信的可重构接收机。

第 2 章介绍了不同调制方式,以及它们的频谱效率、接收机复杂度和链路性能。此外,还介绍了调制方式的演变路径。本章还从发射机角度讨论了频谱增生问题,可用于建立非线性发射功率放大器的模型。

第 3 章重点论述无线信道模型。介绍了频率选择性衰落和平坦衰落,并进一步讨论了世界范围内不同国家微蜂窝和宏蜂窝系统的传播路径损耗,而且对室内和室外时延扩展测量进行了总结。本章还讨论了信道模型的频率依赖性现象(即路径损耗、阴影等),最后介绍了多径衰落信道的计算机仿真模型,可为无线系统设计者进行计算机仿真提供帮助。

第 4 章重点论述相干检测和非相干检测中的多种接收机解调技术,并对误比特率(BER)性能进行比较。本章以  $\pi/4$ -DQPSK 和 GMSK 两种调制方式为例进行讨论,然而只要一些小的改动,它们的检测技术也可以用于其他调制方式。本章还尝试对所介绍的检测器给出统一的 BER 性能描述。

第 5 章着重于介绍无线通信中的性能提升技术。在许多应用中,基于上述技术的通信系统往往无法提供可靠的通信链路,因此本章讨论系统性能提升技术,从而建立可靠的通信系统。本章讨论了交织和解交织操作,强调了它们重新分配突发错误的能力。通过比较分组码、卷积码、RS 码、Turbo 码和删余方法,对前向纠错技术(FEC)进行了详细且深入的论述,并通过重点比较临近 Shannon 限的工作点将它们的性能和级联编码进行了比较。本章随后对空间天线分集合并技术进行了讨论,包括切换合并、最大比合并和最优合并。给出了上述技术的 BER 性能比较和必要的理论公式。最后,本章讨论了两种空时发射分集方法。在这一点上,讨论中加入了链路预算示例,作为一个验证工具来论证性能提升技术对整个系统的性能具有重要影响。

第 6 章主要讨论应用于数字无线通信系统中的典型数字信号处理算法。均衡技术是一种对抗频率选择性衰落信道带来的码间干扰的技术,本章介绍了均衡训练和跟踪中常用的 LMS、RLS 和 DMI 算法。比较了不同信道环境下的空时均衡方法的性能,着重采用特征谱分解工具讨论性能提升和特征值之间的关系,同时介绍了最大似然序列估计和多种天线合并方法。无线通信系

统正朝正交频分复用(OFDM)技术发展,在频域进行 OFDM 信号的处理比在时域更加可行,因此本章介绍了频域均衡技术。本章还讨论了各种符号(比特)定时恢复算法,以及由于定时偏差带来的性能下降。随后,比较了不同信道质量估计技术及它们的潜在应用场合。最后,本章讨论了一些频率校正算法及其性能。

第7章深入介绍了宽带 CDMA(WCDMA)标准。还以高速下行链路分组接入和高速上行链路分组接入为代表,介绍了网络(UTRAN)UE 和物理层。以北美扩频蜂窝系统为例介绍了 DS-CDMA 系统,讨论了 PN 码(最大长度序列、GOLD 码、Walsh 码、Kasami 码等)的产生方法和统计特性。本章介绍了 RAKE 接收机和广义 RAKE 接收机的操作,例如信道估计和定时跟踪。讨论了码片间干扰(ICI)对 RAKE 输出的影响,并给出了新的推导。本章还讨论了扩频系统中几种必需的信号处理技术,例如多径搜索、RAKE 耙指合并、基于信干比(SIR)的功率控制(开环、闭环内环和闭环外环)、传输格式组合译码、接入信道过程。通过 3GPP 标准,介绍并讨论了高性能接收机链路性能仿真结果。

第8章简明描述了系统设计者采用的计算机仿真技术。由于通信系统变得越来越复杂,推导出统一的、准确的、数学上易处理的公式来描述系统性能是非常困难的,因此计算机仿真已经成为人们所接受的评估系统性能的方法。该章旨在向系统设计者介绍多种可行的仿真技术。首先介绍了著名的蒙特卡罗方法,该方法假设噪声统计特性不可知,但运行时间很长。除此之外,还介绍了其他一些减少仿真运行时间的方法,例如重要抽样法、改进重要抽样法、尾部外推法和目前仿真运行最快的半解析法。

第9章深入介绍了正交频分复用(OFDM),以及 OFDM 在 3G LTE 和移动 TV 应用中的众多相关主题。本章介绍了通过广播和多播信道(MBMS)的广播业务传输,为手持终端提供移动 TV 业务的 DVB-H 标准,并简单比较了一种与 DVB-H 竞争的传输标准(MediaFLO)。由于网络 and 用户设备(UE)正持续向基于分组的系统发展,对这些系统中产生的相关问题有必要进行探讨。因此本章对 3GPP 连续性分组连接(CPC)特性进行了概述,并用其探讨某些 UE 的动态行为。讨论比较了典型的 UE 结构,特别是通过性能瓶颈揭示 UE 中的某些压力。本章最后讨论了 HSPA 的演进(64QAM、16QAM、MIMO、VoIP 等),以及由此带来的额外要求。

最后,在本书附录中,对书中所讨论的调制技术,尽可能地给出了 BER 性能的多种数学表达式,为读者考虑系统理想性能时提供参考。

贯穿本书,作者用理论和计算机模拟结果来解释有关的概念,希望读者能够从本书中发现有用和有趣之处。

Joseph Boccuzzi 博士

## 致 谢

本书是作者在数字通信领域 20 年专业经验的结晶。20 年中有幸工作于那些信誉卓著的公司,它们是 Eaton 公司、Motorola 公司、AT&T 贝尔实验室、Cadence 公司、Morphics 公司、Infineon 公司和 Broadcom 公司。此外,在作为 Besser Associates 公司的讲师和纽约理工大学兼职教师的多年里,书中材料已得到有效讲授。而在此期间,我从教学中获得了巨大的反馈,补充和提炼了本书的内容。

最后,我要感激 McGraw-Hill 的编辑 Steve Chapman,以及 ITC 的项目经理 Gita Raman,感谢他们为本书提供的修正和建议,并且为本书的出版始终紧迫地工作。



# 目 录

第 1 章 无线主题 .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 无线标准综述 .....	1
1.3 无线业务融合的原因 .....	28
1.4 随机信号处理知识回顾 .....	32
1.5 带通信号和子系统的表征 .....	35
1.6 接收机灵敏度定义 .....	42
参考文献 .....	43
第 2 章 调制理论 .....	45
2.1 调制损伤 .....	45
2.2 调制方式演变 .....	55
2.3 调制方式比较 .....	96
参考文献 .....	100
第 3 章 无线多径信道 .....	104
3.1 加性高斯白噪声 .....	104
3.2 瑞利多径衰落现象 .....	105
3.3 莱斯多径衰落现象 .....	110
3.4 频率选择性衰落 .....	112
3.5 人为系统干扰 .....	129
3.6 传播路径损耗 .....	131
3.7 关于阴影的讨论 .....	137
3.8 多径衰落仿真模型 .....	139
3.9 关于多径的产生/消失的讨论 .....	143
参考文献 .....	145
第 4 章 调制检测技术 .....	151
4.1 实践和理论的差异 .....	151
4.2 相干检测 .....	151
4.3 DQPSK 的非相干检测 .....	163
4.4 MSK 的非相干检测 .....	177
4.5 误码率(BER)的性能比较 .....	182
参考文献 .....	191
第 5 章 性能提升技术 .....	196
5.1 前向纠错码 .....	196

5.2	空间天线接收分集合并技术 .....	228
5.3	空间天线发射分集技术 .....	245
5.4	链路预算讨论 .....	249
	参考文献 .....	253
<b>第 6 章</b>	<b>接收机数字信号处理 .....</b>	<b>257</b>
6.1	时域均衡(EQ) .....	257
6.2	空时均衡(STE) .....	266
6.3	频域均衡方法 .....	278
6.4	符号定时恢复 .....	279
6.5	信道质量估计 (CQE) .....	285
6.6	自动频率控制 .....	289
6.7	接收机完整结构图 .....	295
	参考文献 .....	297
<b>第 7 章</b>	<b>3G 宽带 CDMA .....</b>	<b>300</b>
7.1	概述 .....	300
7.2	RAKE 接收机原理 .....	302
7.3	2G IS-95 CDMA .....	305
7.4	RAKE 耙指结构与性能 .....	309
7.5	PN 码性质 .....	314
7.6	WCDMA 物理层概述 .....	322
7.7	高速下行链路分组接入 .....	376
7.8	高速上行链路分组接入 .....	388
7.9	多径环境中的容量提高 .....	393
	参考文献 .....	399
<b>第 8 章</b>	<b>计算机仿真评估技术 .....</b>	<b>402</b>
8.1	引言 .....	402
8.2	蒙特卡罗方法 .....	404
8.3	改进的蒙特卡罗方法或重要抽样法 .....	406
8.4	改进的重要抽样方法 .....	411
8.5	尾部外推法(TEM) .....	411
8.6	半解析法 .....	413
8.7	小结 .....	415
	参考文献 .....	416
<b>第 9 章</b>	<b>3G 和 B3G 讨论 .....</b>	<b>417</b>
9.1	引言 .....	417
9.2	多媒体和移动电视服务 .....	424
9.3	一些 3G 终端(UE)统计 .....	433
9.4	高速分组接入的演进 .....	437

9.5 MIMO 技术 .....	439
参考文献 .....	442
附录 A 有用公式 .....	444
附录 B 三角恒等式 .....	451
附录 C 定积分 .....	452
附录 D 概率函数 .....	454
附录 E 序列及求和 .....	455
附录 F 线性代数 .....	457
英中对照词汇表 .....	459

# 第1章 无线主题

## 1.1 引言

从语音到数据再到现在的多媒体,无线通信已经使各种各样的服务成为可能。我们即将进入一个前所未见的时代,手机、笔记本电脑、照相机、个人数字助理(PDA)和电视将有可能集中于一个单一的消费电子设备。

自从蜂窝通信概念提出以来,我们已经开始享受移动通信带来的自由。第一代蜂窝系统是AMPS,即模拟移动电话系统。它利用传统的频率调制(FM)方式来完成语音用户之间的通信。用户的话音直接被FM调制器转换,然后通过无线媒质传输。这个系统有话音质量问题,尤其是在蜂窝边缘,并且受到用户容量低的影响<sup>[1~3]</sup>。

数字通信时代来临!第二代(2G)蜂窝系统利用数字调制方式,例如 $\pi/4$ 正交差分相移键控( $\pi/4$ -DQPSK)和高斯滤波最小频移键控(GMSK)。话音经过数字化,错误保护,然后在一个特定时间、频域或码域内发送出去。这些推进有助于提升话音质量和用户容量。这些2G系统有北美TDMA系统(IS-136)、移动特别小组(GSM)、北美扩频系统(IS-95)和日本数字蜂窝系统(JDC),这仅仅是其中的几例,而GSM是实际上的全球标准,换言之,是在全球范围内更加广泛使用的系统。

这些2G蜂窝系统不仅受用户容量低的影响,而且受用户数据速率低的影响,其间,那些需要充分发挥高数据速率优势的应用也在研发中。由于信号处理的发展和应用于通信设备中的技术的进步,2G系统将其生命周期扩展到被普遍接受的2.5G,即第二代半。这里,GSM演进到通用无线分组业务(GPRS)和全球演进式数据速率增强技术(EDGE),并且GSM还继续着它的演进。与此类似,IS-95演进为CDMA2000,它也同样继续在演进。

在此期间,人们开展了各种各样的研究,以比较时分多址(TDMA)和为下一代蜂窝系统的码分多址(CDMA)。基于后面几节将介绍到的原因,CDMA盛行起来,现在我们拥有了基于宽带CDMA(WCDMA)的第三代(3G)系统。WCDMA继续增加用户容量和用户数据速率,从而更大程度地打开了无线应用在电路交换(CS)和分组交换(PS)领域的大门。

随着不断发展并增加WCDMA/CDMA2000系统在全球的应用,我们将继续确定第四代(4G)系统。该系统不仅能继续增加数据速率和用户容量,而且能支持多种混合业务。这些发展也将由网络方面的改进来处理。

然而,历史总是惊人地重复着,我们看到了3G系统中以公开发布形式的演进。这些公开发布的内容特别强调因特网协议(IP)业务,以及增加用户数据速率来支持这些应用。我们特别指出的是WCDMA不断发展到HSDPA/HSUPA,并继续演进为长期演进(LTE),CDMA2000演进为1xEVDO/DV(演进数据最优化/数据和语音)系统。

## 1.2 无线标准综述

本节将对多种无线标准进行综述。我们的目的是介绍一些包含各种各样服务能力的无线标准。其中,一方面是个域网(PAN),它可以在小的覆盖区域内容纳低移动性用户的操作。然后将讨论局域网(LAN)和广域网(WAN),WAN可以在大的覆盖范围内容纳高移动用户的操作。

随着本书的逐步介绍,我们将知道为什么某些系统设计方案是基于特定的无线标准的。我们还希望介绍 2G 蜂窝系统及其相应的 3G 蜂窝系统。这些概述将作为一个参考并用于简单比较,因为后面我们将讨论这些标准的演进路径。

由于蜂窝标准通常致力于语音通信,下面针对语音应用给出一个发端的原理框图(见图 1.1)。

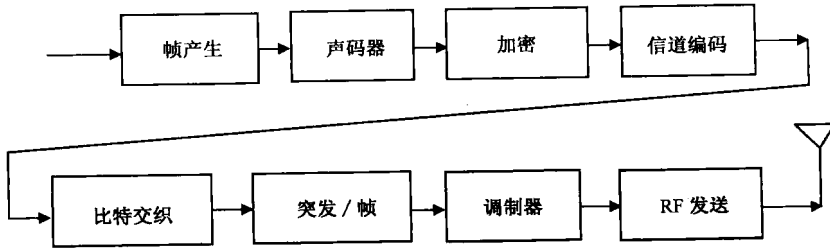


图 1.1 典型的发送功能框图

### 1.2.1 IS-136 北美 TDMA

本小节将详细介绍北美数字蜂窝(NADC)TDMA 系统物理层<sup>[4]</sup>。该系统上行链路和下行链路通信采用频分双工(FDD)。下面我们列出该数字蜂窝系统的一些主要特征:

- 比特速率 = 48.6 kbps (总的信道比特速率)
- 调制方式 =  $\pi/4$ -DQPSK, 采用滚降系数  $\alpha = 0.35$  的 SRC(平方根升余弦)滤波器
- VSELP 7.95-kbps 语音编码
- 每 30 kHz 信道可容纳 3 个全速率用户
- 每 30 kHz 信道可容纳 6 个半速率用户
- 开始采用移动台辅助切换(MAHO)
- TDMA 帧长 = 40 ms
- 语音前向纠错(FEC)
- 带内信令(FACCH)
- 带外信令(SACCH)

图 1.2 给出了下行链路和上行链路的时隙关系,但是首先要知道的是下行链路可以连续发送,而上行链路只能以突发方式发送。用户通过帧结构中的时分复用共享频带。一个用户在每个 40 ms 的帧中将发送两次数据(时隙对)。例如,用户数据比特可能在时隙 1 和 4,或者时隙 2 和 5,或者时隙 3 和 6 中发送。这种操作模式称为全速率。在 40 ms 帧中,当用户只占用一个时隙时就是半速率模式。

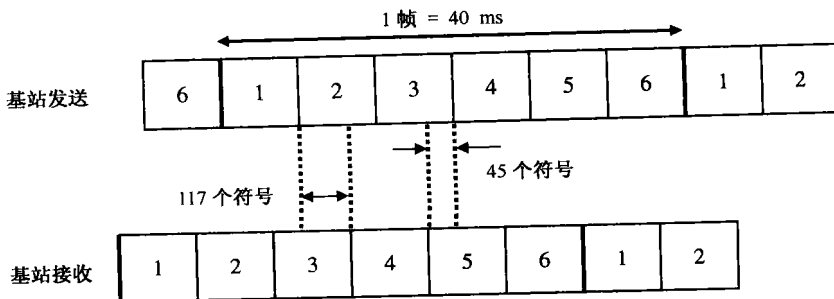


图 1.2 NADC 上行链路和下行链路的时隙关系

我们将利用 NADC 标准来传达一些在 AMPS 发展到数字化时得到的重要结论<sup>[5]</sup>。在图 1.3 中,我们画出了语音质量与载波干扰比( $C/I$ )的关系曲线。有很多种方式可用来观察该图,我们将给出其中的一种。 $x$ 轴可视为我们向服务基站移动, $C/I$ 增加。继续沿着这些曲线观察,离开基站将会产生越来越小的  $C/I$  值,比如在小区边缘。一种用于衡量语音质量的方法是让听众在各种信道情况下收听多种声音样本,然后按从 1 到 5 的顺序评价语音质量。这就是对特定的声码器的所谓平均意见得分(MOS<sup>①</sup>)。

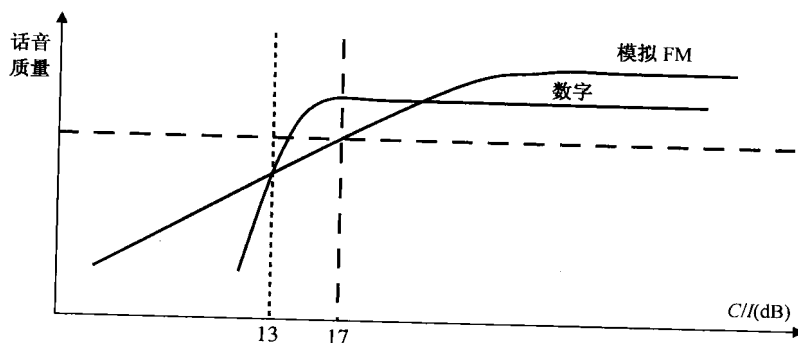


图 1.3 语音质量性能

由于数字声码器是一种有损压缩算法,当我们靠近基站时,模拟系统会产生稍微好一些的语音质量。然而,当我们远离小区基站时,数字系统的性能会更好,这是因为数字系统的特性(纠错、交织)可以补偿多径衰落造成的错误。最后,当移动到小区边缘时,根据系统设计方案,数字系统比模拟系统有更尖锐的语音质量滚降(见图 1.3)。其原因之一是所采用的纠错技术开始失效。换言之,出现的错误数量超过了编码的纠错能力。

图 1.4 给出了上行链路和下行链路的时隙结构。每一个时隙包含 324 比特,持续 6.66 ms。时隙结构中比特域的定义如下。

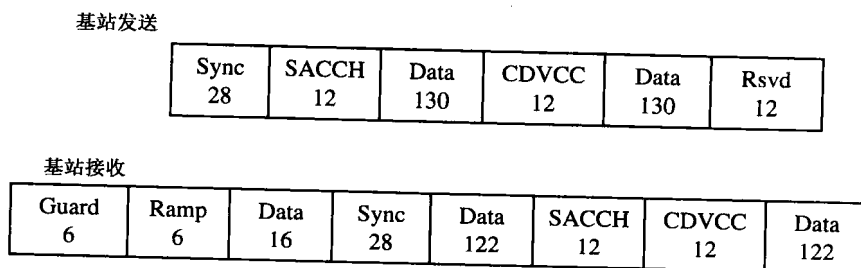


图 1.4 时隙结构

Guard: Guard 域分配 6 比特,以防止上行链路发送的时隙突发重叠。

Ramp: Ramp 域分配 6 比特,允许移动台发射机逐渐达到期望功率,同时满足辐射掩蔽要求。

Sync: Sync 域分配 28 比特,允许移动台和基站在各种信号处理功能之外获得比特隙同步,这些信号处理功能包括信道估计、均衡器训练、频偏估计等。

CDVCC: 分配 12 个编码比特,即编码数字识别色码(CDVCC),以增强移动台和基站之间的可靠控制。未编码比特 DVCC 被重传回基站以协助基站从共道信号中分离出期望的业务信道。

① MOS 评价有 5 个级别:5 为优,4 为良,3 为中,2 为差,1 为劣(不可接受)。

Rsvd:保留 12 比特以为将来使用。同时,保留域中传输的全部为零。  
SACCH:分配 12 比特给慢速随路控制信道(SACCH)。

NADC 采用的调制方式是  $\pi/4$ -DQPSK,图 1.5 给出了信号星座映射图,图中,我们有意将轴上的星座点画成圆形,将轴外的星座点画成矩形。原因将会在下一节讨论调制理论时给出<sup>[6,7]</sup>。

这种形式的差分编码允许每个符号时间间隔内有 4 个相位变化。下面示出的 4 个可能的相轨迹将会由如下以相位状态表形式给出的差分编码规则控制(见表 1.1)。利用相位状态表的映射规则将输入比特流转换为符号或者两比特对。

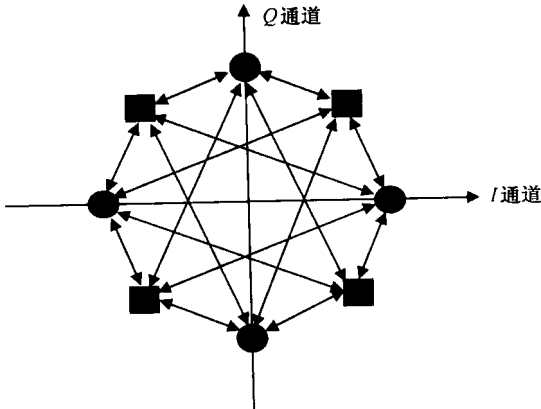


图 1.5  $\pi/4$ -DQPSK 信号星座图

表 1.1  $\pi/4$ -DQPSK 相位状态表

两比特对	相位变化( $\Delta\phi$ )
0-0	$+\pi/4$
1-0	$-\pi/4$
0-1	$+3\pi/4$
1-1	$-3\pi/4$

### 1.2.2 移动特别小组(GSM)

本小节将详细介绍产生于欧洲的 TDMA 系统即 GSM 的物理层,该系统实际上已在世界范围内广泛采用。GSM 采用 FDD 方式进行上行链路和下行链路通信<sup>[8-11]</sup>。

图 1.6 给出了 GSM 上行链路和下行链路的时隙结构。每个无线帧中共有 8 个时隙。总的速率是 270.8 kbps,每个用户的数据速率是 33.85 kbps。上行链路帧和下行链路帧有 3 个时隙的偏移。

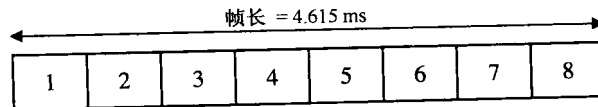


图 1.6 时隙结构

GSM 系统采用 GMSK 调制方式,信号星座图如图 1.7 所示。GMSK 调制方式具有一些好处,包括恒包络、频谱效率高和优异的误比特率(BER)性能。我们将在第 2 章讨论 GMSK 调制方式的这些特性及其他内容。

高斯预调制滤波器的响应为

$$h(t) = \frac{\exp\left(\frac{-t^2}{2\vartheta^2 T^2}\right)}{\vartheta \cdot T \cdot \sqrt{2\pi}} \quad (1.1)$$

其中的变量定义为

$$\vartheta = \frac{\sqrt{\ln(2)}}{2\pi \cdot BT} \quad (1.2)$$

注意,  $T$  是比特时间( $3.69 \mu\text{s} = 1/270.833 \text{ kbps}$ ),  $B$  是滤波器  $h(t)$  的 3 dB 带宽。通常它和比特时间间隔一起定义, 即  $BT = 0.3$ 。

全速率模式支持的用户数据速率是 13 kbps 和 12.2 kbps, 半速率模式支持的是 5.6 kbps。表 1.2 中给出了一些 GSM 系统设计参数。一个简化的 GSM 结构如图 1.8 所示。称为移动台 (MS) 的手持设备与基站收发信台 (BTS) 之间进行通信。BTS 实现调制/解调(modem)功能, 提供同步信号(时间和频率)、频率跳变, 并进行测量。

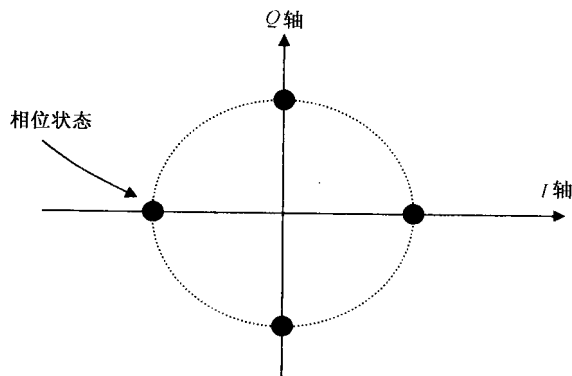


图 1.7 MSK 信号星座图

表 1.2 一些 GSM 系统参数的简介

系统参数	数值
信道带宽	200 kHz
调制方式	GMSK
信道比特速率	270.833 kbps
LPF	高斯型 $BT = 0.3$
前向纠错	卷积编码
原始数据速率	13 kbps
话音帧长度	4.615 ms
交织深度	40 ms
用户数/信道	8
频谱效率	1.35 bps/Hz

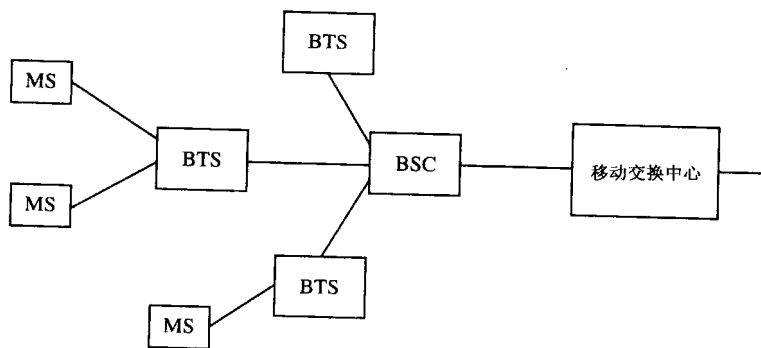


图 1.8 简化的 GSM 结构框图

解调后的用户信号发送到基站控制器(BSC)。BSC 负责频道分配、时隙并控制频率跳变<sup>[12]</sup>。注意, 一个 BSC 可以支持多个 BTS, 以允许发生越区切换。

接下来我们对 GSM 逻辑信道和物理信道进行概述。逻辑信道分为业务信道(TCH)和控制信道(CCH)。TCH 在上行链路和下行链路中承载语音或数据信息样本。CCH 将承载控制信息, 即信令或者同步样本, 逻辑信道如图 1.9 所示。

广播 CCH(BCCH)用于以下情形:

- 仅用于下行链路
- 广播系统信息到 MS(比如频率跳变序列和 RF 信道)
- CCH 的配置
- 始终被发送(而不是频率跳变)
- 发送用于频率校正的 FCCH 和 SCH, 以及帧同步信息



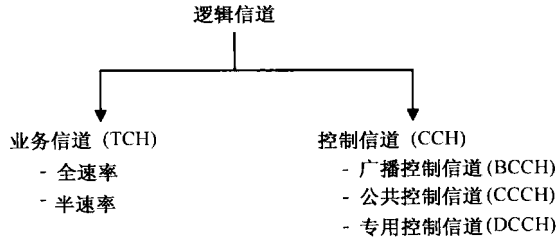


图 1.9 逻辑信道的划分

公共 CCH(CCCH)应用于以下情形:

- 可用于上行链路和下行链路
- MS 存取管理信息
- 发送使用的 PCH(寻呼信道)来寻呼 MS
- 发送使用的 AGCH(存取应允信道)以给 MS 分配 SDCCH(独立专用控制信道)或者 TCH(业务信道)
- 接收用于存取请求的 RACH(随机存取信道),可以是对一个寻呼或者一个呼叫起始请求的响应。这基于时隙 Aloha 协议

专用 CCH(DCCH)用于以下方式:

- 用于上行链路和下行链路
- 发送/接收用于系统信令和呼叫建立的 SDCCH
- 发送/接收用于测量报告和小区信息的 SACCH
- 发送/接收 FACCH 以交换信息从而获得比 SACCH 高的速率。20 ms 的话音被删除, FACCH 被插入帧中

为了定义时隙结构,我们给出常规突发和同步突发的时隙结构(见图 1.10)。

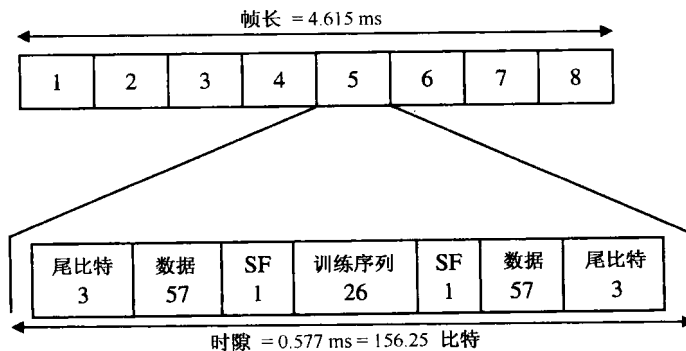


图 1.10 常规突发的时隙结构

**常规时隙。**训练序列采用众所周知的 26 比特模式,可用于各种信号处理,例如均衡器和定时恢复的训练。保护间隔是  $156.25 - 148 = 8.25$  比特,或者突发两侧各 4.125 比特,并且它是一个空区域,插入保护间隔是为了避免由于移动台在小区中位于不同位置而在相邻时隙间产生重叠。一种情形就是,当两个移动台使用相邻时隙,并且一个靠近 BTS,一个远离 BTS 时,由于传播时间