

无线通信网络概论

—禹帆 编著—



清华大学出版社

无线通信网络概论

禹帆 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书涵盖无线通信网络的 GSM、GPRS、3G、WAP 和 Application 五大领域, 阐述通信网络的各种概念。本书依循无线通信网络的发展阶段, 介绍了早期的 GSM 网络、未来的 GPRS 网络、3G 网络和 WAP 协议的起源与特点, 以及移动通信网络的各种应用服务。

本书适合各类高等院校、各种成人教育学院和培训班作为教材使用。

本书繁体字版名为《无线通讯网路概论—GSM, GPRS, 3G, WAP, Application》, 由文魁资讯股份有限公司出版, 版权属禹帆所有。本书简体字中文版由文魁资讯股份有限公司授权清华大学出版社独家出版。未经本书原版出版者和本书出版者书面许可, 任何单位和个人不得以任何形式或任何手段复制或传播本书的部分或全部。

北京市版权局著作权合同登记号: 图字 01-2002-3733 号

版权所有, 翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签, 无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

无线通信网络概论/禹帆编著. —北京: 清华大学出版社, 2002

ISBN 7-302-05985-3

I. 无... II. 禹... III. 无线电通信—概论 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 079113 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦, 邮编 100084)

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

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 刘 颖

印 刷 者: 北京牛山世兴印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×960 1/16 印张: 14 字数: 327 千字

版 次: 2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05985-3/TP·3567

印 数: 0001~4000

定 价: 22.00 元

前 言

在全球所有的第二代移动通信中，GSM 通信网络的使用人数最多，中国目前的大部分移动通信网络就是 GSM 系统。GSM 网络主要用于语音通信，GSM 与 Internet 相结合，出现了 GPRS 网络，使无线终端设备能够方便地从 Internet 下载各种资料。当发展到第三代移动通信，无线终端设备将具备更高的传输速率和更好的传输品质。针对无线通信网络带宽较窄和差错率较高的特点，业界定义了无线应用协议(WAP)。此外，通信网络要能广泛地为大众所使用，最重要的是提供方便与实用的应用服务。

本书涵盖无线通信领域最热门的 GSM、GPRS、3G、WAP 和 Application 五大领域。

主要包括：

第 1 章：通信原理基础，介绍基本原理、数字调制以及数据传输的最高速率等内容。

第 2 章：GSM 的特征和制定过程，介绍蜂窝移动通信系统、GSM 的起源、标准的制定过程、迅速发展和优点等内容。

第 3 章：GSM 网络的子系统，介绍 GSM 子系统的各个组成部分、识别码和设计特点等内容。

第 4 章：GSM 系统的分层结构和通信协议，介绍分层结构和子系统之间的接口和各协议层的功能。

第 5 章：GSM 网络的无线通信接口，介绍复用技术和逻辑信道等内容。

第 6 章：语音信号处理，介绍语音编码、信道编码、交错、加密、组成数据单位和调制等内容。

第 7 章：信号传播过程中的干扰现象，介绍信号传播时受到的干扰、手机的灵敏度和 GSM 系统的抗干扰方法等内容。

第 8 章：GPRS 网络概述，介绍发展背景、发展前景、标准的制定过程、发展过程、用户得到的便利与服务以及面临的问题等内容。

第 9 章：GPRS 网络结构与特色，介绍在 GSM 网络加入新的设备、分层结构、原有 GSM 网络上的通讯设备、识别码、各设备间的通信协议和高层通信协议、网络的服务品质以及 IP 地址规划等内容。

第 10 章：GPRS 网络的无线通信接口，介绍沿用 GSM 网络的频谱与 TDMA 结构、传输数据的逻辑信道、数据资料的信道编码、GPRS 网络的小区规划和 Gs 接口的功能等内容。

第 11 章：移动通信标准的竞争与演变，介绍无线式通信系统、TDD 与 FDD、制定通信标准的竞赛以及第一、二、三代移动通信系统。

第 12 章: CDMA 系统及其调制技术, 介绍新一代复用技术的迫切需求、CDMA 技术的直序扩频、控制机制和优点等内容。

第 13 章: 第三代移动通信系统的网络结构, 介绍 2G 网络如何升级到 3G 网络、UMTS 网络的结构以及增进 3G 网络效能的方法等。

第 14 章: WAP 的起源, 介绍 WAP 应运而生的背景等内容。

第 15 章: WAP 的发展与特色, 介绍通信协议结构、运作方式及特色等内容。

第 16 章: WML 语法入门, 介绍最简单的程序范例。

第 17 章: 移动通信系统的应用服务, 介绍传输环境、服务特色以及发展方向等内容。

第 18 章: 日本 i-mode 的成功经验, 介绍成功因素、用户分析等。

第 19 章: 通信系统的定位服务, 介绍 GPS 定位系统。

由于时间仓促, 书中难免有疏漏之处, 还请各位读者不吝指正。

编者

2002 年 9 月

目 录

第 1 章 通信原理基础.....1	第 6 章 语音信号处理..... 43
1.1 基本通信原理.....1	6.1 语音编码..... 43
1.2 数字调制.....4	6.2 信道编码..... 45
1.2.1 数字调制的优点.....4	6.3 交错..... 47
1.2.2 数字调制技术的评估.....5	6.4 加密..... 49
1.2.3 数字调制方法.....5	6.5 组成数据单位..... 50
1.3 数据传输的最高速率.....7	6.6 调制..... 51
第 2 章 GSM 的特征和制定过程.....10	第 7 章 信号传播过程中的干扰现象..... 52
2.1 蜂窝移动通信系统.....10	7.1 信号传播时受到的干扰..... 52
2.2 GSM 的起源.....12	7.2 手机的灵敏度..... 57
2.3 GSM 标准的制定过程.....12	7.3 GSM 系统的抗干扰方法..... 57
2.4 GSM 的迅速发展.....13	第 8 章 GPRS 网络概述..... 60
2.5 GSM 的优点.....14	8.1 GPRS 网络发展的背景..... 60
第 3 章 GSM 网络的子系统.....16	8.2 什么是 GPRS..... 63
3.1 GSM 的子系统.....16	8.3 无线数据传输的发展前景..... 64
3.2 GSM 系统的识别码.....18	8.4 GPRS 标准的制定过程..... 65
3.3 GSM 系统的设计特点.....20	8.5 GPRS 网络的发展过程..... 66
第 4 章 GSM 系统的分层结构 和通信协议.....21	8.6 GPRS 手机用户得到的便利与服务..... 66
4.1 GSM 系统的分层结构.....21	8.7 运营商的获益..... 67
4.2 子系统之间的接口和各协议层 的功能.....25	8.8 GPRS 面临的问题..... 68
第 5 章 GSM 网络的无线通信接口.....31	第 9 章 GPRS 网络结构与特色..... 70
5.1 GSM 的复用技术.....31	9.1 在 GSM 网络加入新的设备..... 70
5.2 GSM 的逻辑信道.....34	9.2 GPRS 网络的分层结构..... 72
	9.3 原有 GSM 网络上的通信设备..... 74
	9.4 GPRS 网络内的识别码..... 78
	9.5 GPRS 网络中各设备间的通信协议..... 79

9.6 GPRS 网络的高层通信协议.....80	第 12 章 CDMA 系统及其调制技术..... 115
9.6.1 GMM.....80	12.1 新一代复用技术的迫切需求..... 115
9.6.2 SM.....83	12.2 最佳的复用技术 CDMA..... 115
9.7 网络的服务品质.....89	12.3 高通将 CDMA 技术商业化..... 116
9.8 GPRS 网络的 IP 地址规划.....90	12.4 CDMA 技术的直序扩频原理..... 117
第 10 章 GPRS 网络的无线通信接口.....93	12.5 CDMA 通信系统的控制机制..... 120
10.1 沿用 GSM 网络的频谱 与 TDMA 结构.....93	12.5.1 功率控制..... 120
10.2 传输数据的逻辑信道.....94	12.5.2 通话递交..... 122
10.3 GPRS 网络内数据资料的 信道编码.....96	12.6 CDMA 通信系统的优点..... 124
10.4 GPRS 网络的小区规划.....97	12.7 WCDMA 与 cdma2000 调制 技术的差异..... 126
10.5 Gs 接口的功能.....99	第 13 章 第三代移动通信系统的 网络结构..... 127
第 11 章 移动通信标准的 竞争与演变.....100	13.1 2G 网络如何升级到 3G 网络..... 127
11.1 无线式通信系统.....100	13.2 IMT2000 的卫星通信建议案..... 130
11.2 TDD 与 FDD.....101	13.3 IMT2000 标准定义的无线频谱..... 131
11.3 制定通信标准的竞赛.....103	13.4 UMTS 网络的结构..... 133
11.4 早期的第一代移动通信系统.....103	13.4.1 2.5G 网络内加入 RAN 设备..... 133
11.5 第二代移动通信系统.....105	13.4.2 3G 网络的传输技术..... 134
11.6 未来的第三代移动通信系统.....108	13.5 增进 3G 网络效能的方法..... 136
11.7 第三代移动通信标准的发展.....108	13.5.1 指向性天线数组..... 136
11.7.1 ITU 制定出官方 标准 IMT2000.....108	13.5.2 HCS 小区规划..... 137
11.7.2 美国与欧洲互组联盟 各拥自身发展的规格.....110	13.6 3G 时代的多功能手机..... 139
11.7.3 两大主流技术的市场 形势分析.....111	13.7 日本进行的 IMT2000 实验性网络..... 140
11.7.4 ITU 选择 3G 标准的 态度倾向.....112	第 14 章 WAP 的起源..... 141
11.7.5 3G 通信标准市场 现况分析.....113	14.1 无线通信的传输环境..... 141
11.7.6 3G 执照的竞争.....113	14.2 有线网络的应用进程不适用 于无线网络..... 142
	14.2.1 终端设备..... 142
	14.2.2 通信协议..... 143
	14.3 网络通信协议的层结构..... 143

14.4 通信协议的运作方式.....	146	17.3.4 手写输出与手机 ICQ.....	177
14.5 通信协议在无线信道内的 传输现象	148	17.3.5 视频传输	178
14.5.1 TCP 协议应用于无线网络 ...	148	17.3.6 工作行程管理.....	178
14.5.2 UDP 协议用于无线网络.....	151	17.3.7 休闲娱乐	179
14.5.3 TCP 协议与 UDP 协议	152	17.3.8 电子商务	179
14.5.4 HTTP 的特点与问题	152	第 18 章 日本 i-mode 的成功经验	181
14.6 WAP 应运而生.....	153	18.1 用户人数快速增长.....	181
第 15 章 WAP 的发展与特色	156	18.2 电信网络的连结	182
15.1 WAP 的发展起源.....	156	18.3 成功的因素.....	183
15.2 WAP 论坛努力的目标.....	157	18.4 手机上网方式与网页语言	187
15.3 WAP 通信协议结构.....	158	18.5 用户分析.....	188
15.4 WAP 1.0 版本的通信协议	160	18.6 在商业上的应用	188
15.5 WAP 协议发展出的特殊功能	161	第 19 章 通信系统的定位服务	190
15.6 WAP 协议的底层载体.....	163	19.1 推动定位服务的驱动力	190
15.7 无线网络的连接.....	164	19.2 电信网络定位服务的信号传递	191
15.8 WAP 网关的运作方式.....	166	19.3 定位服务的各种属性	192
15.9 WAP 协议的特色.....	167	19.3.1 定位服务的共同发展方向 ...	192
15.10 WAP 应用服务的未来.....	170	19.3.2 准确度	193
第 16 章 WML 语法入门.....	171	19.3.3 响应时间	194
第 17 章 移动通信系统的应用服务	174	19.3.4 隐私性	194
17.1 移动通信网络的传输环境.....	174	19.3.5 覆盖范围	195
17.2 无线网络应用服务的特色.....	175	19.4 定位系统的操作原理	195
17.3 应用服务的发展方向.....	175	19.5 定位系统的分析	198
17.3.1 查询地点的定位服务	175	19.6 如何使用 GPS 系统进行定位	202
17.3.2 远程监控	176	19.7 2G 网络与 3G 网络的位置 查询服务.....	210
17.3.3 与 Internet 互动	177		

第 1 章 通信原理基础

现在的各种通信书籍，大都离不开复杂的数学公式。数学虽然能够准确地描述各种通信的特性，但是艰深的数学往往使读者忽略数学公式背后所代表的意义。本书的目的是，以浅显易懂的文字，描述各种不同的通信系统与通信原理，使通信不再只是数学公式的计算，而是一门有趣的学问。

本章介绍许多基本的通信原理，这些通信原理是阅读后续章节的必备知识。首先介绍通信系统的信噪比(S/N)，接着是信号强度的计量单位(dB)，当讨论信号与环境干扰的关系时将用到这两个概念。调制技术是通信的基础技术，后面的许多章节将会介绍不同的通信系统所采用的各种调制技术。无论是有线网络还是无线网络，人们都希望能尽量提高信道的数据传输速率，但是传输速率不可能无限地提高，所以我们需要了解决定数据传输速率的两个公式。

1.1 基本通信原理

1. 信噪比

在通信理论中，噪声对信号的干扰程度用信号与噪声的比值 S/N(Signal to Noise)来表示，S/N 值的单位通常是 dB(分贝)。通信系统要求接收到的信号的 S/N 值必须大于 1，这样接收端才能过滤掉噪声、分辨出信号。通常 S/N 值越高，信号的质量越好。通信系统发射端的功率受到各种机构的限制，不能随便提高发射功率，否则可能干扰其他通信系统。

信噪比的计算公式为：

$$S/N(\text{dB})=10 \lg(S/N)$$

按照上述公式，当信号 S 的值为噪声 N 的两倍时，S/N 为 3 dB。

2. 信号强度

在讨论信号的传播时，必须以数值来表示信号的强弱，因此有必要了解信号强度的单位。最简单的方法是用功率来表示信号的强度，功率的单位是瓦特(W)。工程上常用分贝来表示信号的强度，公式为 $\text{dB}=10 \lg(P_2/P_1)$ ，其中 P_2 是信号的功率， P_1 是固定参考信号的功率，大小为 1 mW。信号的功率越大，其强度就越高。例如功率为 10 W 的信号，其强度为

$10 \lg(10\text{W}/1\text{mW})=40 \text{ dB}$ 。当发射功率增加 1 倍时, 根据公式

$$10 \lg(2 \times P_2) = 10 \lg P_2 + 10 \lg 2 = 10 \lg P_2 + 3,$$

各地接收到的信号强度就增加 3 dB, 如图 1.1 所示。

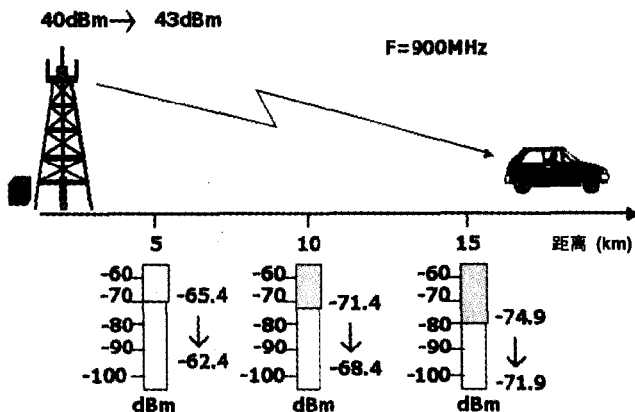


图 1.1 发射功率增加 1 倍, 接收到的信号强度就增加 3 dB

3. 调制

为了减少信号的衰减, 改善信号的传输效果, 通常在发射之前, 将源信号与较高频率的信号相结合, 以较高频率内的相位与频率变化来表示源信号的内容, 这一过程称为调制 (Modulation)。频率较低的源信号称为基带(Baseband)信号, 较高的调制频率一般称为载波 (Carrier) 频率。例如, 在蓝牙(Bluetooth)技术标准中, 信号在 2.4 GHz 的共享 ISM 信道上传输, 2.4 GHz 就是该系统的载波频率。接收端收到载波频率后, 按照相反的过程将基带信号从载波中分离出来, 这个程序称为解调(Demodulation), 也叫滤波。

调制技术在无线通信以及 Internet 中有着广泛的应用。例如, FM 收音机发出的声音频率为 30 Hz~3 000 Hz, 但它接收到的信号频率是 90 MHz~165 MHz, 这是因为电台在发射之前, 将语音信号以 FM 方式调制到 90 MHz~165 MHz 的载波频率上。类似的, GSM 移动通信系统也是将语音信号调制到 900 MHz 或 1 800 MHz 的载波频率上。若要用电话线将电脑连接上网, 必须使用调制解调器(Modem)。调制解调器的作用是, 将计算机的数字信号转换成模拟信号(调制), 将电话线上的模拟信号转换成数字信号(解调), 调制解调器就是由此得名。

调制技术分为模拟调制和数字调制。早期的模拟调制技术抗干扰能力较差, 因此 GSM 系统采用了比较先进的数字调制技术。数字调制相对于模拟调制有许多优点, 但由于模拟调制沿用已久, 因此仍将介绍 AM 和 FM 模拟调制, 然后再来介绍数字调制。

调制技术是学习通信的必备知识。要系统描述调制技术的特性,离不开复杂的数学公式。但本章省略这些数学公式,着重从概念上解释各种调制技术的本质。读者要想作更深的研究,可以参考相关的技术书籍。

4. 无线通信调制技术的目的

无论是模拟调制还是数字调制,目的都是提高信号的传输效果,原理是以载波振幅、相位和频率的变化来表示基带上的信息。不同的调制技术适用于不同的信道(Channel),有线通信的调制与无线通信的调制不同,无线通信的信号在传输时特别容易衰减,受到多重路径(Multipath)反射等干扰。无线通信调制技术的目的是占用更少的带宽,传输更稳定的信号。

5. 模拟调制

模拟调制是以载波振幅与频率的连续性变化来表示基带模拟信号。早期的第一代移动通信系统采用的都是模拟调制技术,例如美国于1984年开发的AMPS(Advanced Mobile Phone System)系统,以及欧洲的多种模拟移动电话标准,包括TACS、NMT、C-450、Radiocom 2000和RTMS。调幅(Amplitude Modulation)与调频(Frequency Modulation)是最常见的模拟调制技术,AM和FM分别以载波的振幅和频率变化来表示基带信号,如图1.2所示。FM跟AM相比具有更多的优点,所以FM是比较理想的模拟通信调制技术。

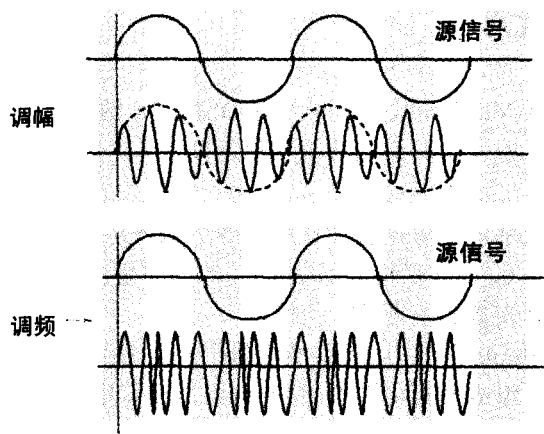


图 1.2 AM 与 FM 调制技术的图形表示

- 抗干扰能力强。FM 以载波频率的变化来表示基带信号,这样,多重路径反射等干扰只会减小信号的振幅,不会影响信号的频率,所以 FM 比 AM 具有更强的抗干扰能力。这就是收音机 FM 节目比 AM 节目音质好的原因。

- 增加了带宽，从而提高了信号的传输质量。与 AM 所不同的是，FM 调制技术能适当增加传输带宽，以获得更好的传输质量。例如在一些 FM 通信系统中，当带宽加倍时，系统的信噪比增加 6 dB，信号质量明显提高。但是任何调制技术都要尽量少占用带宽，所以 FM 调制必须在带宽与信号质量之间作出平衡。
- 省电。FM 信号的振幅是一个定值，不因基带信号的大小而改变，所以 FM 的发射功率也保持一定，在这种情况下，发射机内就能够使用效率较高的 C 级功率放大器(Amplifier)。典型的 C 级功率放大器的耗电功率约为 70%，表示电池功率中约有 70%转换成信号。AM 发射器机的功率放大器为 A 级或 AB 级，耗电功率只有 30%~40%。
- 俘获效应。俘获效应(Capture Effect)是指在同一频率上同时出现两个强度不同的信号时，FM 接收机将接收强度较高的信号并解调，较低强度的信号不会被接收，这种特性能避免同频干扰(Co-channel)现象。AM 系统就没有这种特性，接收机将同时接收频率内的任何信号，包括噪声信号。

当然，FM 也不是十全十美的。为了维持传输时的俘获效应，降低噪声的影响，FM 调制所占用的带宽通常是 AM 调制的数倍。另外，FM 接收机与发射机的设备也比 AM 复杂。

1.2 数字调制

1.2.1 数字调制的优点

随着超大规模集成电路(VLSI)和数字信号处理(DSP)技术的迅猛发展，许多新的通信系统都采用了数字调制技术，如 GSM 通信系统和蓝牙技术等。跟模拟调制相比，数字调制具有更多的优点：

- 抗干扰能力强。数字调制信号只有 0 和 1 两个状态，抗干扰能力大大增强。假设以 0 伏特表示状态 0，以 5 伏特表示状态 1，当信号受到噪声干扰变成 3.8 伏特时，系统仍然能够将其恢复到正常的 5 伏特。
- 可以实现复用(Multiplex)。不同类型的信号(语音、数据、视频)经过数字调制后，都转换成由 0 和 1 组成的数字信号，然后通过复用技术在同一个信道上传输。接收端接收到这些信号后，通过多路分解(De-multiplex)把特定的信号过滤出来。
- 保密性强。在发射端，可以运用数字信号处理技术，以特定的密码对信号进行加密(Encryption)，接收端必须具备相同的密码，才能对信号解密。除了加密，数字调制还能进行信道编码(Channel coding)，信道编码是在传输的数据内人为地加入一些控制位，当接收端接收到信号后，根据这些控制位的值，对传输过程中出错的位进行纠正。

GSM 系统采用的就是数字调制技术，在后面的章节中可以看到 GSM 系统具备上述优点。

1.2.2 数字调制技术的评估

不同的数字调制技术具有不同的特性，好的数字调制技术要符合下列条件：

- 信噪比较低时，仍能保持较低的误码率 BER (Bit Error Rate)。
- 发生多重路径反射或严重衰减时，仍能正常运行。
- 占用的带宽比较小。
- 设备简单，不昂贵。

绝对完美的数字调制技术是不存在的。采用什么样的数字调制技术，要根据具体系统的特点来确定。在移动通信系统中，这往往取决于基站的覆盖范围、发射频率等因素。

量化地评价数字调制时，通常用到功率效率(Power Efficiency)和带宽效率(Bandwidth Efficiency)。

发射功率增大后，信噪比也随着增大，但是，不同的数字调制系统增加相同的功率时，信噪比的增加并不相同。发射功率与信噪比的函数关系反映的就是数字调制系统的功率效率。当接收到的信号的误码率保持某个值 (例如 10^{-5}) 时，发射每个比特所需要的功率就是功率效率。

当提高数据传输率时，所需的带宽也会增加。带宽效率就是不同的数字调制系统的数据传输率与带宽之间的函数关系，它的值等于数据传输率与所占带宽的比值 $R/B(\text{b/s/Hz})$ 。在相同的带宽下，带宽效率越高的数字调制系统，能够提供越高的数据传输率。

提高功率效率时，带宽效率往往会降低，反之亦然，因此必须平衡两者之间的关系。比如，在信道编码中加入一些纠错位后，带宽必须增加，这样带宽效率就会降低，同时纠错位提高了系统的抗干扰能力，在保证误码率不变的情况下，接收端对信噪比的要求就降低了，也就是说，可以降低发射功率来提高功率效率。

除了功率效率和带宽效率这两个重要因素，防止多重路径反射的干扰，减少衰减等也是需要考虑的因素。

1.2.3 数字调制方法

数字调制是以载波振幅、相位、频率的变化来表示基带的数字信号 0 与 1。以载波的振幅变化来表示基带信号的数字调制技术，称为 ASK (Amplitude Shift Keying) 调制，又叫幅移键控，如图 1.3 所示。

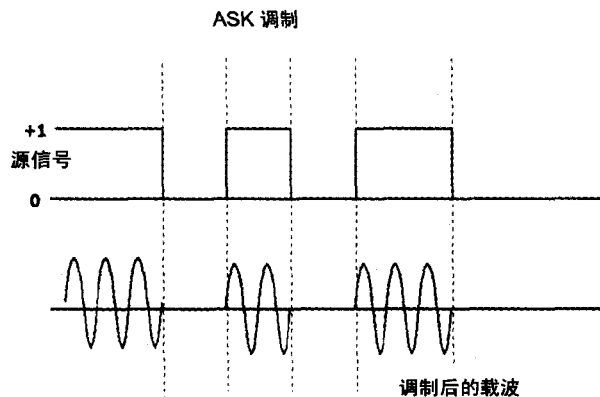


图 1.3 ASK 数字调制方法

以载波的频率变化来表示基带信号，称为 FSK (Frequency Shift Keying) 调制，又叫频移键控，如图 1.4 所示。

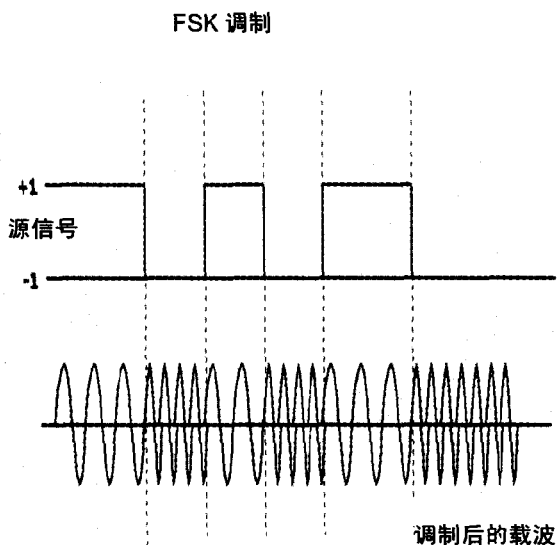


图 1.4 FSK 数字调制方法

以载波的相位变化来表示基带信号，称为 PSK (Phase Shift Keying) 调制，又叫相移键控。如图 1.5 所示，用载波的 0 与公式 π 两个相位来表示数字信号的 0 和 1，这种调制属于 BPSK(Binary PSK)。

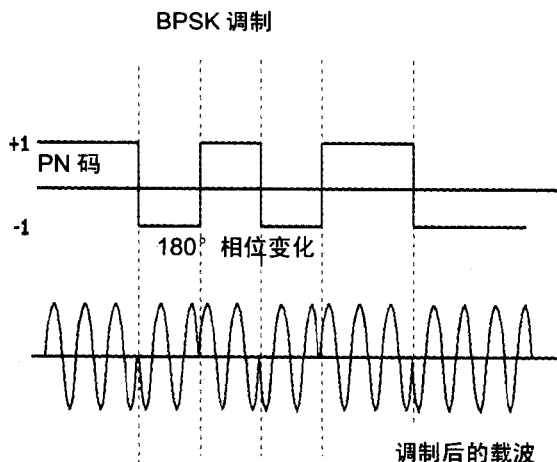


图 1.5 BPSK 数字调制方法

以载波的 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ 等 4 种相位来表示数字信号时, 称为 QPSK(Quadrature PSK)。将载波的 2π 相位分割成 M 个相位来表示数字信号时, 调制方式称为 MPSK(M-ary PSK)。PSK 系统中表示载波各个相位的图形称为 Constellation 图, BPSK 与 QPSK 的 Constellation 图如图 1.6 所示。

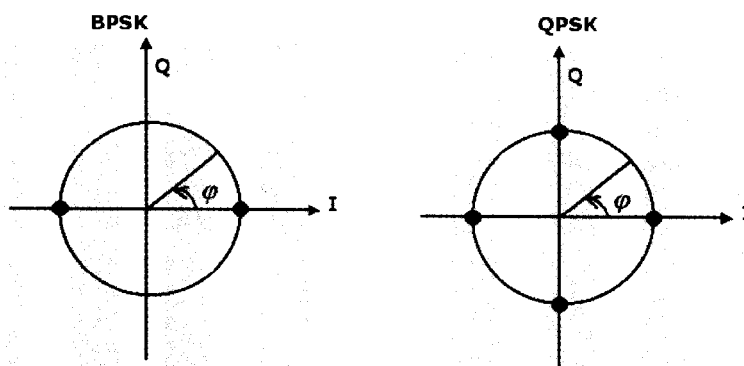


图 1.6 BPSK 与 QPSK 的 Constellation 图

1.3 数据传输的最高速率

由于信道带宽和噪声干扰等因素的限制, 数据传输速率不能无限地提高。在通信理论中, 对于信道的最高传输速率, 有一个著名的 Nyquist 理论和一个著名的 Shannon 公式,

它们适用于有线信道和无线信道。

1. Nyquist 理论

介绍 Nyquist 理论之前, 首先必须介绍比特率(Bit Rate)和波特率(Baud Rate)。比特率表示单位时间内传输的比特数目, 通常以 b/s(比特/秒)为单位。波特率表示单位时间内传输的波形数目, 单位为赫兹(Hz), 它反映的是载波的频率或相位的变化速率。

在 Nyquist 理论中, 载波的波特率(B)等于信道的带宽(W)的两倍, 即

$$B=2W$$

其中带宽(W)和波特率的单位都是 Hz。比如, 某个信道的频带是 900 MHz~900.2 MHz, 那么波特率 $B=2 \times (900.2-900) \text{ MHz}=400 \text{ kHz}$ 。

当每个波形只由一个比特组成时, 比特率和波特率是相等的。比如, 在 FSK 系统中, 以 F1 表示 1, 以 F2 表示 0, 每个比特随着载波频率的变化而变化, 这时, 比特率和波特率相等。

在带宽一定的情况下波特率也一定, 为了提高比特率, 许多更复杂的调制技术将每个波特跟更多的比特相对应。例如 QPSK 的 0、公式 $\pi/2$ 、公式 π 、3 公式 $\pi/2$ 等 4 个相位可分别对应 00、01、10、11 等 4 种比特组合, 每次相位变化都对应 2 个比特, 在同样的波特率下能够提供更高的比特率。EDGE 是 GSM 的升级标准, 它的频谱与 GSM 系统相同, 但 EDGE 具有更高的传输速率, 原因是, GSM 采用的是 GMSK 调制技术, 每个波特对应 1 个比特, 而 EDGE 采用的是 QPSK 调制技术, 每个波特对应 3 个比特, 数据传输速率因此得到提高, 达到 384 Kb/s, 如图 1.7 所示。

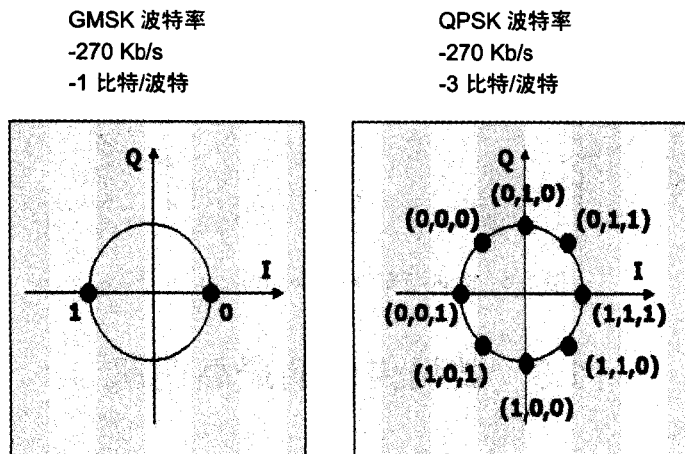


图 1.7 GMSK 系统与 QPSK 系统中波特与比特的对应关系

2. Shannon 公式

1948年, Shannon发表了著名的Shannon公式。此公式表示了信道的数据传输速率 $C(\text{b/s})$ 与带宽 $W(\text{Hz})$ 、噪声 N 和信号强度 S 之间的关系:

$$C=W\lg(1+S/N)$$

GSM系统的带宽为200 kHz, 根据Shannon公式, 它在理论上的最高数据传输速率是多少呢? 假设信噪比 S/N 为10 dB:

$$C=W\lg(1+S/N)=200\,000\lg(1+10)=691.886\text{ Kb/s}$$

后面我们将了解到, GSM系统实际的传输速率是270.833 Kb/s。