

移动通信轻松入门

冯兴乐 编著

世态变迁，沧海桑田，**移动** 改变生活
信息时代，沟通无限，**通信** 创造价值
漫画插图，拒绝枯燥，**轻松** 诙谐幽默
生活实例，贴切类比，**入门** 其实不难



本书按照由浅入深的思路较为全面地讲述了通信、移动通信、第三代移动通信等领域的相关知识和先进技术。全书共 8 章, 主要内容包括通信与通信系统概述、编码与调制、移动通信基础、扩频理论与码分多址、第三代移动通信标准演进、网络结构和移动性管理、CDMA 系统的逻辑信道和信号检测、第三代移动通信中的关键技术。本书尝试用轻松幽默的漫画插图和生活中的实例阐述枯燥难懂的技术知识, 集知识性、趣味性、实用性和前沿性于一体, 是一本理想的移动通信入门读物和科普图书。

本书可作为普通高校非通信工程专业的工科类本科生和研究生的专业选修课或公共选修课教材, 也可作为高职高专院校电子信息类相关专业教材, 同时也可供通信工程技术人员和科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

移动通信轻松入门 / 冯兴乐编著. —北京: 机械工业出版社, 2012.11
ISBN 978-7-111-40321-0

I. ①移… II. ①冯… III. ①移动通信—通信技术 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 264206 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 李馨馨

责任印制: 张楠

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm×260mm·9.75 印张·239 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-40321-0

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着国民经济的发展,尤其是 2009 年国家发放 3G 牌照后,社会对移动通信人才的需求日益增加,许多学校开设了“移动通信”专业课或公共选修课,非通信专业的学生也对移动通信产生浓厚的兴趣,并有部分学生准备毕业后进入这一行业。因此,本书的目标读者为缺乏通信基础知识且对通信感兴趣的非专业读者。

目前市场上有关移动通信的书籍大致分为两类,一类是以科学性和严谨性为特色的专业类教材,普遍针对信息学科的学生,对先修课程的要求较高,要求已学过“电路分析基础”、“数字电路”、“通信原理”、“信号与系统”等。教材内容的理论性较强,包括大量的数学推导和理论分析,使非信息学科的学生望而生畏,从而降低了学习兴趣。另一类是近几年出现的以趣味性和科普性为特色的通俗读本,如大话系列,对话系列等,该类读物通过日常生活的举例,以通俗浅显的语言讲述移动通信的原理和应用,建立一个感性的概念,但读者往往停留在感性的层面,难以和具体理论知识对应起来。本书写作的出发点介于二者之间,希望达到趣味性和科学性的统一,对知识点的阐述采用“先感性,后理性”的两步走策略。首先,通过通俗易懂、风趣幽默的日常事例,将深奥复杂的通信知识进行通俗的解读,尽管缺乏学术的严谨性,但能够给读者直观的感性认识,通过这种全新的阅读体验,使读者对移动通信产生学习兴趣。其次,在读者建立感性认识后,用本行业最基本的专业术语对相关技术做概念性的讲述,以通俗浅显的语言讲述移动通信的原理和应用,重点强调物理含义,避免使用复杂的理论分析和数学推导,保证以较少的篇幅,给读者一个关于移动通信系统的简洁的全貌认识,达到普及移动通信理论知识的目的。

全书分三部分,共 8 章。第一部分(第 1、2 章)讲述通信系统的基本概念、信源编码、信道编码和调制技术。第二部分(第 3、4 章)讲述移动通信的基本概念、分类,扩频通信原理与码分多址技术。第三部分(第 5~8 章)是本书的重点,第 5 章讲述第三代移动通信系统的标准演进过程;第 6 章讲述 CDMA 系统的网络结构、移动性管理和呼叫过程;第 7 章讲述 CDMA 系统的逻辑信道的分类和功能,链路信号的检测过程;第 8 章讲述第三代移动通信中的关键技术,包括功率控制技术、多用户信号检测技术、多入多出(MIMO)技术、正交频分复用(OFDM)技术等。

本书由长安大学冯兴乐副教授编写。编者结合多年的教学实践和心得体会,针对初学者的情况,有重点地编写此书。在本书编写过程中,得到了责任编辑李馨馨老师的大力协助,在此表示衷心的感谢,此外还要感谢吴晓云、程燕两位研究生对本书文稿的协助整理。由于本书内容的新颖性和作者理解的主观片面性,书中不妥和错误之处在所难免,殷切希望广大读者及同行专家批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 通信与通信系统概述	1
1.1 通信的基本概念	1
1.1.1 消息、信息与信号的区别	1
1.1.2 信息及其度量	2
1.1.3 信号的分类	3
1.2 通信系统的分类与通信方式	4
1.2.1 通信系统的分类	4
1.2.2 通信传输的方式	6
1.3 通信系统的主要性能指标	11
1.3.1 数字通信系统的高效性指标	11
1.3.2 数字通信系统的可靠性指标	12
1.4 其他基本概念与术语	12
1.5 通信系统的组成	13
1.5.1 通信系统模型	13
1.5.2 模拟通信系统模型	14
1.5.3 数字通信系统模型	15
第 2 章 编码与调制	18
2.1 信源编码	19
2.1.1 信源编码的定义及其作用	19
2.1.2 信源编码的类型	19
2.1.3 脉冲编码调制	20
2.1.4 非均匀量化	22
2.1.5 信源编码常用的指标	23
2.2 信道编码	24
2.2.1 信道编码的基本概念	24
2.2.2 奇偶校验码	25
2.2.3 重复码	25
2.2.4 卷积码	25
2.2.5 循环冗余校验码	26
2.2.6 交织	27
2.3 调制与解调	28
2.3.1 基本概念	30

2.3.2 调制的分类	30
2.3.3 数字调制模式举例	31
第3章 移动通信基础	34
3.1 移动通信的特点	34
3.2 移动通信的基本概念和术语	35
3.2.1 信号损耗和衰落	35
3.2.2 分集接收	36
3.2.3 多普勒效应	37
3.2.4 无线信道	38
3.2.5 噪声	39
3.3 移动通信的分类	40
3.3.1 无线电寻呼系统	40
3.3.2 无绳电话系统	40
3.3.3 集群调度系统	41
3.3.4 卫星通信系统	41
3.3.5 蜂窝移动通信系统	42
3.4 蜂窝移动通信的基本概念和术语	44
3.4.1 蜂窝与小区	44
3.4.2 切换与漫游	45
3.4.3 其他概念与术语	46
第4章 扩频理论与码分多址	48
4.1 扩频通信的意义	48
4.2 伪随机序列	49
4.2.1 伪随机序列的基本概念	49
4.2.2 伪随机序列的产生	49
4.2.3 伪随机序列的评价指标	50
4.2.4 伪随机序列举例	51
4.3 扩频通信原理	54
4.3.1 直接序列扩频	54
4.3.2 跳频扩频 (FH-SS)	56
4.3.3 跳时扩频 (TH-SS)	57
4.4 多址方式	58
4.4.1 多址的概念	58
4.4.2 频分多址	58
4.4.3 时分多址	60
4.4.4 码分多址	62
第5章 第三代移动通信标准演进	66
5.1 蜂窝移动通信的发展过程	66
5.2 移动通信标准化组织	67

5.2.1	3G 移动通信标准化组织	67
5.2.2	国际移动通信 2000 (IMT2000)	69
5.2.3	中国 3G 标准化格局	69
5.3	WCDMA 标准及其演变	70
5.3.1	WCDMA 简介	70
5.3.2	GSM 标准	71
5.3.3	GPRS 标准	72
5.3.4	WCDMA 的演进	72
5.3.5	WCDMA 标准的主要技术参数	73
5.4	cdma2000 标准及其演变	74
5.4.1	cdma2000 演进图	74
5.4.2	各演进阶段的技术特点	75
5.5	TD-SCDMA 标准及其演变	76
5.6	三大主流技术标准比较	78
5.6.1	技术参数比较	78
5.6.2	应用层面比较	78
5.7	未来技术标准发展趋势	79
5.7.1	3GPP 标准演变	79
5.7.2	B3G 标准的演进	81
第 6 章	网络结构和移动性管理	83
6.1	组网结构	83
6.1.1	GSM 组网结构	84
6.1.2	UMTS 组网结构	87
6.1.3	LTE 组网结构	88
6.2	逻辑单元	89
6.2.1	用户终端 (MS 与 UE)	90
6.2.2	基站系统 (BSS 与 UTRAN)	90
6.2.3	交换系统 (NSS 和 CN)	92
6.3	移动性管理	92
6.3.1	位置更新和移动台状态	93
6.3.2	切换	94
6.3.3	鉴权与加密	95
6.4	CDMA 的呼叫过程	96
第 7 章	CDMA 系统的逻辑信道和信号检测	100
7.1	逻辑信道的组成和作用	100
7.2	前向链路	101
7.2.1	前向链路信道结构	101
7.2.2	前向链路基本处理	102
7.2.3	导频信道	106



7.2.4 同步信道	107
7.2.5 寻呼信道	107
7.2.6 前向业务信道	108
7.3 反向链路	108
7.3.1 反向链路信道结构	108
7.3.2 反向接入信道	109
7.3.3 反向业务信道	109
7.4 前向链路的信号检测	110
7.5 反向链路的信号检测	114
第 8 章 第三代移动通信中的关键技术	115
8.1 多入多出 (MIMO) 技术	115
8.1.1 MIMO 技术背景	115
8.1.2 MIMO 系统概述	116
8.1.3 BLAST 空间复用系统概述	118
8.2 功率控制技术	119
8.2.1 功率控制技术概述	119
8.2.2 上行功率控制	120
8.2.3 下行功率控制	122
8.2.4 小区呼吸功率控制	122
8.3 多用户信号检测技术	123
8.3.1 多址干扰	124
8.3.2 多用户检测技术概述	126
8.3.3 线性多用户检测器	127
8.3.4 解相关多用户检测算法	128
8.3.5 连续干扰抵消多用户检测算法	129
8.4 正交频分复用 (OFDM) 技术	130
8.4.1 正交载波	130
8.4.2 OFDM 技术特点	131
8.4.3 降低峰均比 PAPR	134
8.5 智能天线技术	134
8.5.1 智能天线概述	135
8.5.2 智能天线的特点	136
8.5.3 智能天线的关键技术	137
8.6 认知无线电 (CR)	138
8.6.1 认知无线电的概念	138
8.6.2 认知无线电的关键技术	139
附录 缩略语	143
参考文献	148

第1章 通信与通信系统概述

在远古时代，没有发明文字和交通工具以前，人类就有了原始的通信方法，如“以物示意”、手势、语言等；大约三千年前的周朝时期，中国就开始利用金鼓、旌旗、烽火等传递紧急消息；在当今信息社会，通信则与传感器、计算机技术紧密结合，成为整个社会的高级“神经中枢”。人类的通信方法如图 1-1 所示。



图 1-1 人类的通信方法

一般来说，通信是指将信息从一个地方向另一个地方进行有效、可靠的传输。满足此定义的例子有很多，如打电话，它是利用电话系统传递语音消息；发送电子邮件，它是利用互联网传输数据信息。

1.1 通信的基本概念

1.1.1 消息、信息与信号的区别

消息 (Message): 是包含各种特定内容的信息，是信息的具体表现形式。通常指包含具体内容的文字、符号、数据、话音、图片和视频等。将人类直接感知的描述称为消息。什么东西是人能够感知的呢？看看人的感觉器官：眼睛，能看到文字和图像；耳朵，能听到声音；鼻子，能闻到气味；舌头，能品尝五味；皮肤，能感知冷暖。

信息 (Information): 在概念上与消息相似，但其含义比消息更具普遍性和抽象性。信息可以被理解为消息中包含的有意义的内容，消息可以有各种各样的形式，但消息的内容可以统一用信息来表述和度量。

信号 (Signal): 是承载或反映信息的载体，是消息的物理表现形式。通常以某种客观物理量、客观现象或语言文字的形式表现出来。在数学上可以表示为一个或者多个变量的函数。在通信系统中，信号通常是时间的函数。为了将消息传输得更远、更快、更准确，需要将不能直接传输的气味、图像等消息转换为电信号。

通信系统中通信双方关注的核心是包含信息的消息，发送端需要将信息表示成具体的消息，再将消息转变为信号，才能在实际的通信系统中传输。如果说信息是思想，消息是语言的话，那么信号就是声音。思想通过语言来表达，语言通过声音来传输，这就是信号与信息、消息之间的关系。



如图 1-2 所示，消息可用一幅图像表示；信息是将图像采样、量化和编码后得到的二进制序列“10101100...”；若用一个频率为 20kHz 的周期正弦波形表示“1”，而用频率为 10kHz 的周期正弦波表示“0”，则这些正弦波形即为信号，也可以用方波的不同电平表示“1”或“0”。



图 1-2 消息、信息与信号

1.1.2 信息及其度量

信息是消息中包含的有意义的内容，包含相同信息的消息可以有不同的表现形式。例如，分别用语音和文字发送的天气预报，所包含的信息内容是相同的。在一切有意义的通信中，虽然消息的传递意味着信息的传递，但对于接收者而言，不同消息包含的信息量是不同的。就像用“货运量”来衡量运输货物的多少一样，在通信系统中，通常用“信息量”去衡量传输信息的多少。消息中所含信息量的多少，不是由消息的多少来决定的，而是与该消息发生的概率密切相关。



如图 1-3 所示，甲告诉乙两件事，第一件是非常可能发生的事件：“今年冬天的平均气温比去年冬天要高”；第二件是极不可能发生的事件：“今年冬天的平均气温比去年夏天还高”。相比而言，第一件事包含的信息显然要少于第二件事。因为在接收者看来，第一件事很可能发生，不足为奇，但第二件事却极难发生，听后使人惊奇，这表明消息确实有量值的意义。

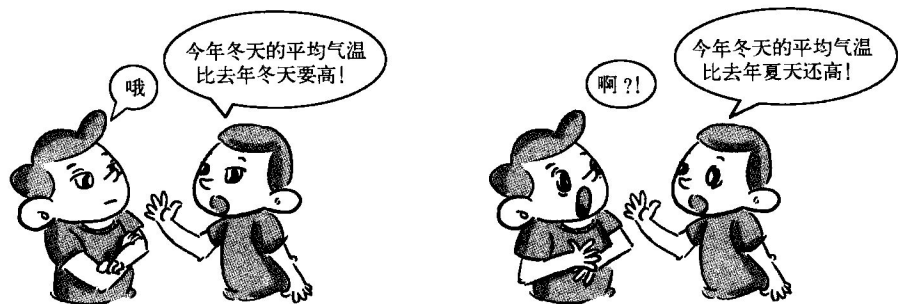


图 1-3 不同消息所包含的信息量不同

概率论告诉我们,事件的不确定程度可以用其出现的概率来描述。即事件出现的可能性越小,概率就越小;反之,概率就越大。因此,消息具有以下特点:

- 消息 x 发生的概率 $P(x)$ 越大,信息量 I 就越小;当概率为 1 时,即百分百发生的事,传输此消息毫无意义,所以其信息量为 0。可见,信息量和消息发生的概率是相反的关系。
- 当一个消息是由多个独立的小消息组成时,那么这个消息所含的信息量应等于各个小消息所含信息量之和,即

$$I[P(x_1)P(x_2)\dots]=I[P(x_1)]+I[P(x_2)]+\dots$$

在通信领域,通常采用比特 (bit) 作为信息量的单位。

对于接收者而言,收到的信号包括 M 种可能形态,每种形态对应一种波形 (信号),若每种形态出现的概率是相等的 (简称“等概”),即概率 $P=1/M$,则一个波形所传送的信息量为

$$I=\log_2 1/P \quad (1-1)$$

或 $I=\log_2 M \quad (1-2)$

式中 M ——传送的波形种类总数;

P ——每一种波形出现的概率;

I ——信息量 (单位: bit)。

若各种形态出现的概率不相等,则需要用平均信息量——“熵” $H(x)$ 的概念来描述信息量。由于信源中的各个波形是随机出现的,所以平均信息量只能用统计平均的方法得到,则 $H(x)$ 等于各个波形的信息量乘以各波形出现的概率后相加。“熵”的单位为 bit/符号。

$$H(x)=P(x_1)\log_2 (1/P(x_1))+P(x_2)\log_2 (1/P(x_2))+\dots+P(x_n)\log_2 (1/P(x_n)) \quad (1-3)$$

1.1.3 信号的分类

根据不同的分类标准,信号可分为以下类型。

(1) 连续信号和离散信号

连续信号:是指其自变量 (一般指时间) 是连续变化的信号。但是信号的因变量 (一般指幅度和功率) 并不一定是连续的。

离散信号:是指其自变量 (一般指时间) 是不连续变化的信号。但其因变量 (一般指幅度和功率) 取值可能包括很多个 (甚至是无限多)。

(2) 模拟信号和数字信号

按照信号参量的取值方式及其与消息之间的关系,可将信号划分为模拟信号和数字信号。

模拟信号:是指代表消息的信号参量 (幅度、频率或相位) 随时间连续变化的信号。信号参量的取值包括无限多种可能。它是一种特殊的连续信号,其特殊性在于信号幅度是连续的。

数字信号:是指它不仅在时间上是离散的,而且在幅度取值上也是离散的 (即幅度取值被限制在有限种状态) 信号。

(3) 随机信号和确知信号

确知信号：可以用明确的数字表达式表示的信号。若确定了时刻，即可知道该时刻对应的信号幅度。

随机信号：在发生之前无法预知信号的取值，即写不出确定的数字表达式，只知道它取某一数值的概率。

(4) 周期信号和非周期信号

周期信号：每隔固定的时间（周期）又重复出现的信号。通信系统中常用于测量的正（余）弦信号、雷达中的矩形脉冲序列都是周期信号。

非周期信号：当周期信号的重复周期无限增大时，周期信号就转化为非周期信号，即单个不重复信号。一般是指瞬变信号。像语音信号、开关启闭所造成的瞬态都是非周期信号。



连续量与模拟量、数字量与离散量的区别。

由于在通信系统中，信号参量通常不可能跃变，故通常认为连续量可以等同于模拟量，但数字量不可以等同于离散量，因为数字量一般只有 0、1 两个状态量，而离散量可以有无限多个量，如 1、3、5、43 等。

模拟量、数字量与离散量之间存在紧密的联系，下面举例说明。

气温数据的采样和处理：根据各种预报设备得到的是连续型的模拟信号，温度的取值范围是无穷多个，经采样后（如每小时采一次）变为离散化的数据（离散量），但其取值仍是无穷多个，最后对离散数据进行四舍五入的近似处理，得到整型的数字量，其取值为有限多个数值。

对模拟信号每隔时间 T 抽样一次所得到的信号为离散信号，虽然其波形在时间上是不连续的，所以没有从本质上改变模拟信号，因此说，离散信号是经过采样的模拟信号。对模拟信号进行量化后，将因变量的取值由无穷多种可能变为有限种可能，即变为数字信号，需要注意的是，尽管二进制信号（即只有“1”和“0”两种状态）是最常见的数字信号，但二进制信号并不等价于数字信号，因为还存在其他进制的数字信号（如四进制中的数字包括“0”、“1”、“2”、“3”）。由此可见，离散信号是模拟信号通往数字信号的桥梁。

1.2 通信系统的分类与通信方式

1.2.1 通信系统的分类

通信系统从不同的角度可以有不同的分类方法，下面介绍几种常见的分类。

1. 按通信业务种类划分

按通信业务的种类，可分为电报、电话、传真、数据传输、可视电话、无线寻呼等。从广义的角度来看，目前已形成独立学科的广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等学科的核心与通信密不可分。

2. 按传输媒介划分

传输媒介是指传输系统中连接发射机与接收机的物理路径。按传输媒介的不同，通信系

统可分为两大类。

有线通信：是指信号在电缆、光缆、波导中传输的通信方式，分别称为明线通信、光缆通信、波导通信。其特点是媒介看得见，摸得着，信号传播的方向确定。

无线通信：是指电磁波在空间传输的通信方式。无线通信按频率波段又可分为超长波通信、长波通信、短波通信、超短波通信、微波通信、毫米波通信和光通信等。这种通信的特点是，其传输媒介看不见、摸不着，通信终端移动灵活，但易受外界干扰。

3. 按传输信号的特征划分

根据信道传输的信息是模拟量还是数字量，相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。注意，数字通信系统中传输的信息是数字的，但信号有可能是模拟的，如发送的信息是“1010”，若用调频信号传输时，则用一个周期的频率为 20kHz 的正弦波表示“1”，而用一个周期的频率为 10kHz 的正弦波表示“0”。在此过程中，传输信号（形式）是模拟信号，但传输信息（内容）是数字信息，这种系统仍然认定为数字通信系统。

☞注意：

判断通信系统是模拟还是数字，关键看其传输的信息（内容）而不是信号（形式）。

4. 按调制方式划分

根据通信系统是否采用调制，将通信系统分为基带传输和频带（调制）传输两大类。

基带传输：是指信号没有经过调制（即频率搬移），直接送到信道中去传输的通信方式。在基带传输中，整个信道只传输一种信号，信道利用率低。由于基带信号的功率衰减较快，因此，只适用于近距离的数据传输，如局域网中通常使用基带传输技术。

频带传输：是指信号在发送端经过调制后（中心频率搬移）再送到信道中传输，接收端有相应解调措施的通信方式。频带传输又可分为模拟频带传输和数字频带传输等。模拟频带传输还可分为调幅（AM）、调频（FM）、调相（PM）等。数字频带传输还可分为幅移键控（ASK）、频移键控（FSK）、相移键控（PSK）等。



基带与频带的区别。

基带：是指从直流或接近直流延伸到某个有限值的信号频谱，这个值通常是小于几 MHz 的有限数。

频带：将基带信号变换（调制）成便于在信道中传输的、具有较高载频的信号（称为频带信号），其信号频谱中能量集中的一段频率范围称为频带。

基带信号与频带信号的转换是由调制解调技术完成的。

5. 按通信一方是否运动划分

固定通信：是指通信双方都是固定不动地进行信息交换。其主要特征是终端的不可移动性或有限移动性，如普通电话机、IP 电话终端、传真机、无绳电话机、微波中继站、联网计算机等电话网和数据网终端设备。

移动通信：是指通信双方至少有一方在运动中进行消息的传送与交换。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活的特点，用户能随时随地快速进行信息传递，因此，移动通信

具有广阔的前景。本书的第 3~4 章将重点介绍移动通信。

1.2.2 通信传输的方式

1. 按消息传送的方向和时间的关系划分

对于点对点之间的通信，按消息传送的方向和时间的关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信和全双工通信三种。

单工通信：是指消息只能单方向传输的工作方式，如图 1-4 所示。通信双方在整个通信过程中只有一方可以进行发送，另一方只能接收。广播、遥测、遥控、无线寻呼等就是采用单工通信方式。

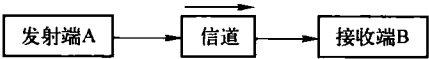


图 1-4 单工通信方式

半双工通信：是指通信双方都能收发消息，但任何一方都不能同时进行接收和发射的工作方式。如图 1-5 所示，A 能发信号给 B，B 也能发信号给 A，但这两个过程不能同时进行。例如，使用同一载频的普通对讲机，通信双方的操作采用“按—讲”方式，交替地进行收信和发信。平常各接收机均处于守候状态，即把天线接至接收机等候被呼。当一方要发话时，他就按下开关，一方面关掉接收机，另一方面将天线接至发射机的输出端，接通发射机开始工作。当确知另一方已接收到呼叫信号时，即可进行信息传输。

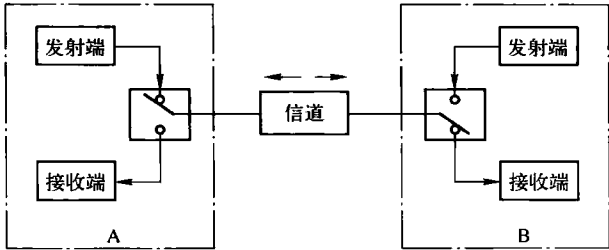


图 1-5 半双工通信方式

全双工通信：是指通信双方可同时进行收发消息的工作方式。如图 1-6 所示，在通信一方（A）给另一方（B）发信号的同时，B 也可以给 A 发信号。普通电话就是全双工通信一个常见的例子，通话的双方可同时进行说和听。计算机之间的高速数据通信也是这种方式。

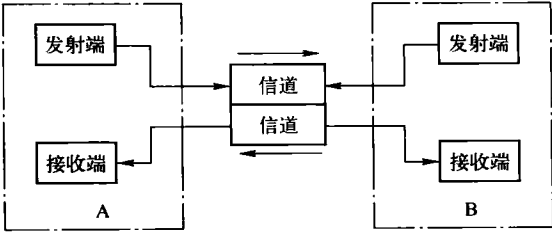


图 1-6 全双工通信方式

2. 按数字信号码元的排列划分

在数字通信中，按数字信号码元排列方法不同，分为串行传输和并行传输。

串行传输：是将数字信号码元序列按时间顺序一个码元接一个码元地在信道中传输，如图 1-7a 所示。对任何一个由若干位二进制表示的字符，串行传输都使用一个传输信道，按位有序地传输字符。这种方式只需要一条传输链路，成本低廉，总的传输速率也较低。

并行传输：是将代表信息的数字信号码元序列以成组的方式同时在两条或两条以上的并行信道上传输。由于串行传输需占用资源较多，通常用于近距离传输。例如，计算机送出的由“0”和“1”组成的二进制代码序列，在 n 条并行信道上同时传输 n 个代码。这种方式下，一个分组中的 n 个码元能够在一个时钟节拍内从一个设备传输到另一个设备。例如 4 比特字符用 4 条信道并行传输，如图 1-7b 所示。

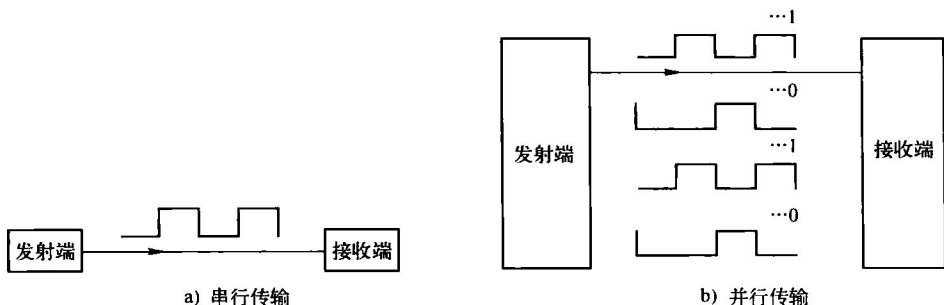


图 1-7 串行传输与并行传输

3. 接收发双方是否同步划分



举 例

盖房传递砖头。

以前在农村盖房，需要将砖头从地面扔到房顶，一人在地上扔砖，一人在房顶接砖。

老王和小王是多年的老搭档，配合默契，节奏一致（收发时钟相同），从早上到中午，一直没停，且从未出现失误。

老李和小马是新来的两位工人，刚开始，两人节奏不一致（收发时钟不同），老李在地上扔得快，小马在房顶接得慢，手忙脚乱，大汗淋漓，还易出错。后来两人商量，每扔 9 块红砖，就扔 1 块青砖（同步头），然后二人休息一会儿后再开始。

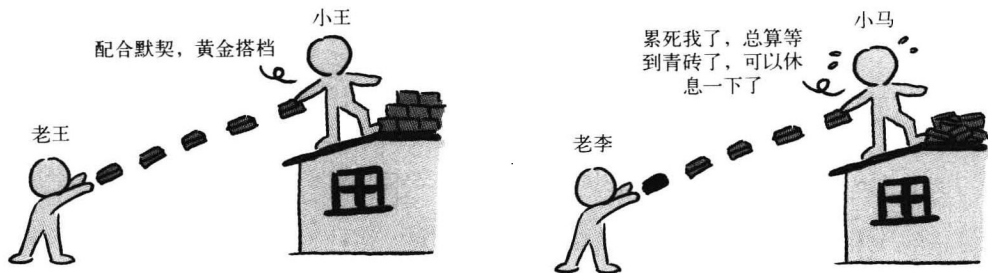


图 1-8 盖房传递砖头

通信传输的本质在于接收端重现发射信息，需要对接收信号进行采样后判决，然而由于

接收端和发射端距离较远，没有相同的时钟基准或时间基准存在误差，就会在接收采样时发生“对不齐”的情况，影响接收的准确性。同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的基本条件。同步使收、发两端的信号在时间上保持步调一致。按收发双方是否同步可分同步传输方式和异步传输方式。

在图 1-9 中，接收端的采样脉冲和发射端不同步，即采样间隔和发射端的时钟不能对齐，在开始的几个采样周期中，没有出现判决错误，但每次的采样脉冲较正常情况下提前（也有可能推迟），经过 6 个采样周期的时钟误差累积，在第 7 个采样周期，出现了错误判决，导致错误判决的原因就是发射端和接收端的时钟不同步。

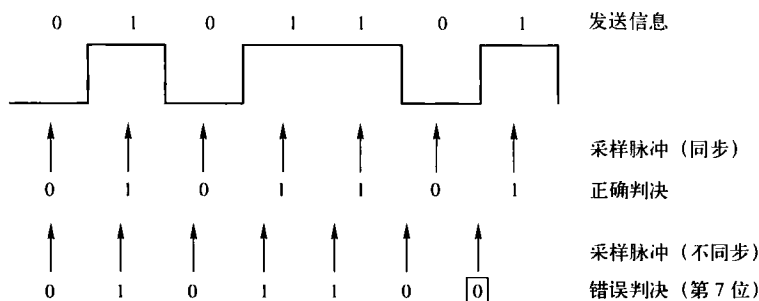


图 1-9 同步传输模式中收发时钟不同步造成的错误判决

理想的通信系统中，收发两端的时间基准完全相同，即发送端的 1 秒时钟长度完全等于接收端的 1 秒时钟长度，但实际上不可能做到完全相同，只要其误差不影响接收端的检测判决即可。在传输过程中，如何保持码组或者字符同步的问题非常重要，而异步传输模式和同步传输模式对此问题的解决思路完全不同。

同步传输：是指通信过程中通信两端单位时间对应的长度是相同的。通信两端都要有时钟，通过同步字使两端时钟达到同步，之后以同步的始终节拍来发送数据信号，因此在串行的数据流中，信号码元的相对位置都是固定的，即同步。

异步传输：是指通信过程中通信两端的时钟是不同步的，允许发射端和接收端的时钟存在较大差异。当然，这里所说的较大差异是和同步传输对时钟的严格要求相比的。为了避免由于时钟不同步出现的时钟误差积累，在接收端利用传输数据中的开始位和终止位，隔段时间就要进行一次时钟校对，以此保证时钟误差积累在系统允许的范围之内。如图 1-10 所示。

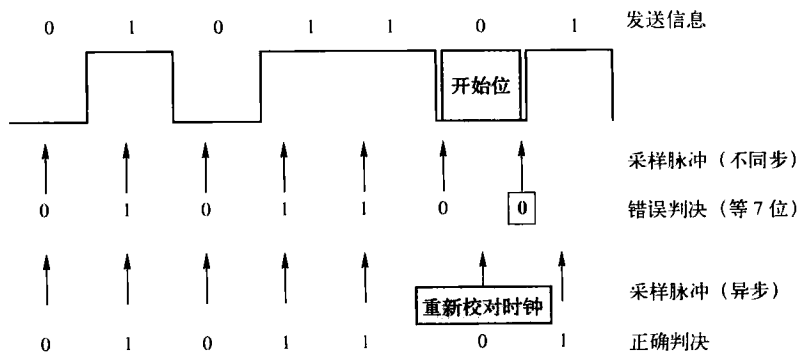


图 1-10 异步传输通信

图 1-11 给出了同步传输方式与异步传输方式的区别。由图中可以看出:

1) 同步传输往往通过特定的时钟线路(如 GPS)协调时序,对时序的要求较高,在数据中抽取同步信息,实现复杂,但信道利用率较高。

2) 异步传输通过传输序列中的开始位和停止位抓住再同步的机会,对时序的要求较低,但由于存在大量的开始位和停止位等冗余信息,传输效率较低。

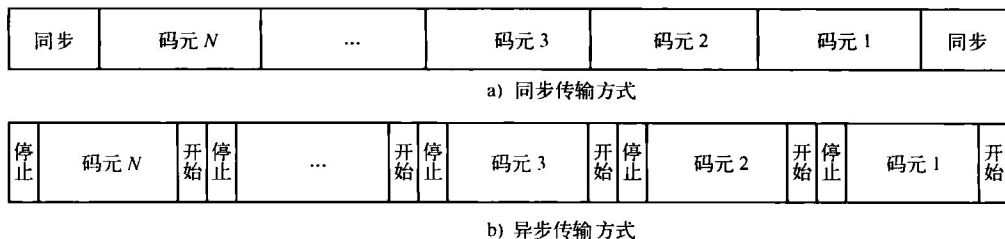


图 1-11 同步通信与异步通信

4. 按多址复用方式划分

多址技术是指多个用户通过地址相互区分,共享同一无线信道资源的技术。按多址复用方式可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)。下面通过实例来介绍三种多址技术。



举 例

在一个会议大厅中,有多对朋友(每对朋友2人)在交谈(见图 1-12a),为了不相互影响,同时又要共享同一个大厅,提出了三种方案。

方案一: 分割空间(频分多址)

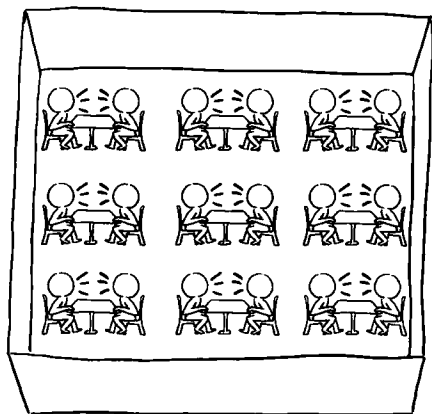
将大厅分割为多个包间,包间之间相互隔音,一对朋友占用一个包间(见图 1-12b)。该方案对应于频分多址,将频段分割,频段之间有保护间隔,一组用户占用一个频段。该方法实现简单,但频谱利用率不高,若该频段已分配,即使此时没有进行通信,其他用户也不能使用该频谱。

方案二: 分割时间(时分多址)

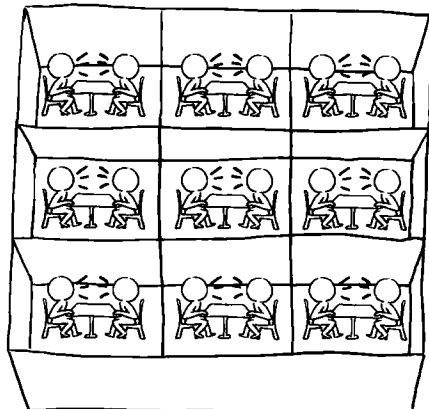
将一天的时间分割为多个时间段,时间段之间互不重叠,一对朋友占用一个时间段(见图 1-12c)。该方案对应于时分多址,在 GSM 系统中,将 1 秒的时间分割为 8 个时隙,一组用户占用一个时隙。该方法实现简单,但同样存在频谱利用率不高的问题。

方案三: 各组用户采用不同的交流语言(码分多址)

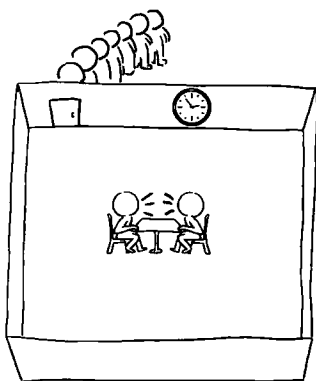
所有的用户同时使用同一个大厅,但每组用户使用的交流语言不同(见图 1-12d),A 组的一对朋友(2 人)选用汉语;B 组的一对朋友选用英语;C 组的一对朋友选用日语;由于所有的用户只能听懂一种语言,其他语言对他们不会造成影响。该方案对应于码分多址,一组用户分配一种地址码。该方法的优点在于,系统能够容纳的用户数没有明确的界限。



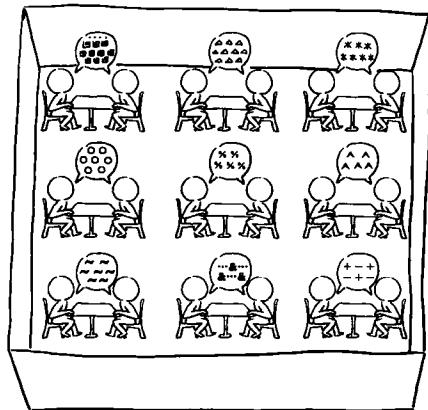
a) 会议大厅里，众多朋友在交谈，由于人多嘴杂，彼此的谈话不是很清楚



b) 将大厅分割成隔音的包间，彼此的谈话不被干扰



c) 每个时间段只能有一对朋友进入大厅交谈



d) 各组用不同的语言交流，不会互相干扰

图 1-12 多址技术举例

具体来讲，三种多址的基本原理简单分析如下：

频分多址 (FDMA)：是指把通信系统的总频段划分成若干个等间隔的频道（或称信道），分配给不同的用户使用。这些频道互不交叠，其宽度应能传输一路话音信息，而在相邻频道之间有保护间隔以防止相互串扰。

时分多址 (TDMA)：是指把时间分割成周期性的帧，每一帧再分割成若干个时隙（无论帧或时隙都互不重叠），然后根据一定的时隙分配原则，使各移动台只能使用系统分配的时隙，在共享信道的同时互不干扰。

码分多址 (CDMA)：是指所有的移动台占用同一频率，但每个移动台被分配一个独特的随机码序列，不同移动台的码序列彼此不相关，或相关性很小，以便区分不同移动台。



双工方式和多址方式的区别。