

DIANZI XINXI ZHUANYE

21世纪高等院校应用型规划教材●电子信息专业

World business

business

现代交换技术

王卓鹏 王保华 逢明祥 王恩成 编著

- ◆ 集移动通信网交换技术及移动互联网核心知识于一书，紧扣最新交换技术
- ◆ 结合当前网络运行维护经验，去繁存真，使读者真正做到学即所用
- ◆ 以理论与案例分析相结合，夯实基础，减少无谓的“空洞基础知识”

免费赠送
PPT电子课件
及习题答案



清华大学出版社

21 世纪高等院校应用型规划教材·电子信息专业

现代交换技术

王卓鹏 王保华 逢明祥 王恩成 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了移动通信网络所需的现代交换技术。主要内容包括 SS7 信令系统; MAP 协议; 移动宽带协议; 移动智能网; 移动分组网; IMS 网络、MSC POOL 及软交换局、交换局局数据制作等技术。

本书取材新颖、实用, 反映了当前现代交换技术的状况和技术的最新发展, 且根据实际工作中的需要, 对内容进行了相关取舍, 可以说该书更加强调实用性并试图提供一本所学即可用的书籍。

本书既可作为电子与通信类专业本科生教材, 也可作为相关工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代交换技术/王卓鹏等编著. —北京: 清华大学出版社, 2014

(21 世纪高等院校应用型规划教材·电子信息专业)

ISBN 978-7-302-35530-4

I. ①现… II. ①王… III. ①电话交换—高等学校—教材 IV. ①TN916

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 034948 号

责任编辑: 曹 坤

封面设计: 杨玉兰

责任校对: 李玉萍

责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 25.25

字 数: 610 千字

版 次: 2014 年 4 月第 1 版

印 次: 2014 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 49.00 元

产品编号: 049822-01

前 言

现代生活和工作,离不开信息的相互交换。通信是信息交换的重要工具之一。

通信按照用途和范围,可以分为专网通信和公众通信。

专网通信是指按照特定目的、特定人群组建的通信网络,如公安通信专网、电力通信专网、铁路通信网。这类通信网,不对普通大众开放,它们因使用目的的差异,其组网结构、网络使用方式都和公众通信网有很大差异,本书不对其进行深入介绍,如果有读者从事这方面的工作,本书可以提供一些基本的通信理念,帮助其掌握专用通信网。

公众通信网也即是人们日常生活、生产中经常使用的通信网。这类通信网一般是政府特许经营的,如中国移动、中国联通等。全世界各个国家或地区的公众通信网,通过大家共同遵守的通信协议规范,相互连接,组成一个覆盖全球的通信网络,实现全球通信。作为公众通信中发展最快且越来越重要的移动通信网,已实现了移动用户在全球任何地方都可以自由通信。目前移动通信,也从单纯的语音通话,演进为支持语音通话、多媒体、短信(彩信)、图片、数据等,特别是移动互联网业务,已被公认为当前最具前景的技术方向。

公众通信网又可以分为固定通信网和移动通信网。两种通信网在功能和设备上存在很大不同,目前移动通信网正逐步取代固定通信网,且两者可以通过 IMS 融合在一起。本书以移动通信网中 UMTS 交换为基础,介绍现代交换技术。

本书主要介绍移动交换知识,对于非常基础的或者说非常容易获取的知识点,本书限于篇幅不做介绍或只是简单提到,这部分的内容读者可以参考相关参考书或其他相关知识的专题资料。全书分为 11 章。第 1 章简单地介绍一般通信概念和基础知识,这部分是后续章节的基础,考虑到篇幅原因,基本上是提纲挈领式的,各关联知识的更加详细的内容,可参见相关参考书或其他相关知识的专题资料。第 2 章介绍现代通信的基础,SS7 信令系统。讲述 MTP1/2/3 及 SCCP、TCAP 部分,之所以选择这几部分,是因为移动通信的信令理解、分析是离不开这些知识点的,对于 ISUP 等常用局间通信信令,考虑到各种参考资料非常多,大家可以非常容易获得并学习,因此在此处没有讨论。第 3 章介绍 MAP 协议,它是移动通信的核心网基本协议。第 4 章介绍智能网,这主要是国内移动智能网使用非常普及,几乎无处不在。第 5 章介绍移动通信的宽带协议,说明现在通信如何在 IP 网/ATM 网等宽带网络中传递,符合现在通信交换局全 IP 化的趋势。第 6 章介绍移动分组网,是移动通信和 IP 互联网融合的基础,也是未来移动通信最具发展前景的部分。第 7 章介绍软交换局的一些相关知识,说明语音通话如何实现的。第 8 章介绍 IMS 网络知识,第 9 章介绍 MSC POOL。第 8、9 章主要说明移动核心网络正在发生的一种演进趋势。第 10 章介绍局数据制作,这是交换局日常工作,主要介绍如何通过数据配置来控制交换局工作。第 11 章移动终端选网和位置更新,该章节和移动通信比较紧密,在交换工作中经常会遇到,是交换和无线的结合点之一。

本书和以往交换书籍最大的不同是,对于传统的通信知识不做过多的讲述,基本上是一带而过,而是侧重于目前网络中实际使用的移动交换技术的介绍。本书既可以作为高等学校电子与通信类专业的本科生教材,也可以作为实际交换局维护、优化工作人员的业务

参考书籍。书中提供了一些移动交换方面常用协议的较为详细表格，可以作为实际工作的参考工具书使用，对一些比较容易混淆或疑难的问题，在具体章节中都进行了一些深入的讲解，如 SCCP 等。总之，本书的出版目的，是希望尽可能地提供一些实用的、可以经常查阅的移动交换知识。

全书由王卓鹏主持编写，其中第 1~4 章由王卓鹏编写，第 5、6、9、10 由广东联通王保华编写，第 7、8 章由逢明祥编写，第 11 章由北方工业大学王恩成编写。全书由王卓鹏审核。书中资料出处除了已标明的外，还参考了中兴、华为、爱立信等厂家公开的部分培训学习资料，在此特向相关厂家表示衷心感谢。此外山东科技大学研究生孙文文、李培霞、黄玲玲及于明舜制作完成了本书的全部插图，在这里对他们表示由衷的感谢。

鉴于编者水平有限，书中错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论.....	1	2.2.7 GT 翻译.....	46
1.1 通信的分类.....	1	2.3 事务处理能力应用部分 TCAP.....	50
1.2 通信系统模型.....	5	2.3.1 TCAP 基本处理过程.....	52
1.3 信道和香农公式.....	6	2.3.2 TCAP 异常情况的处理.....	53
1.3.1 传输信道.....	6	2.3.3 TCAP 对话处理过程.....	54
1.3.2 信道噪声.....	7	思考题.....	55
1.3.3 信道带宽.....	9	第 3 章 MAP 协议.....	56
1.3.4 香农公式.....	9	3.1 采用 MAP 协议的接口.....	56
1.4 数字通信.....	10	3.2 MAP 接口的功能.....	58
1.5 通信网络基础.....	12	3.3 MAP 协议栈.....	59
1.5.1 通信网的分类.....	13	3.4 公共 MAP 业务.....	61
1.5.2 交换的本质.....	14	3.5 MAP 消息介绍.....	62
1.6 TST 交换网络.....	15	3.5.1 ASN.1 编码.....	62
1.6.1 语音信号的数字化.....	15	3.5.2 MAP 消息结构.....	63
1.6.2 PCM30/32 时分多路通信的 基本原理.....	17	3.6 MAP 支持的操作.....	65
1.6.3 数字交换的 T 接线器和 S 接线器.....	18	3.7 MAP 信令流程例子.....	67
1.6.4 串并转换.....	22	3.8 MAP 协议版本间功能差异.....	68
1.6.5 数字交换网 TST.....	24	3.9 MAP 协议版本间操作码差异.....	69
1.7 3G 移动通信核心网的演进.....	25	思考题.....	69
思考题.....	26	第 4 章 智能网.....	71
第 2 章 SS7 信令.....	27	4.1 智能网产生的背景.....	71
2.1.1 SS7 信令的体系架构.....	27	4.2 智能网应用范围.....	72
2.1.2 MTP 功能级.....	28	4.2.1 智能网标准演进.....	73
2.1.3 SS7 信令消息格式.....	30	4.2.2 智能网能力集(Capability Set) ...	73
2.2 SCCP 协议介绍.....	32	4.3 智能网体系结构.....	74
2.2.1 SCCP 产生的背景.....	32	4.3.1 业务交换点 SSP.....	74
2.2.2 SCCP 的应用特点.....	34	4.3.2 业务控制点 SCP.....	75
2.2.3 SCCP 提供的网络服务功能.....	34	4.3.3 业务数据点 SDP.....	75
2.2.4 SCCP 的选路功能.....	36	4.3.4 智能外设 IP.....	75
2.2.5 SCCP 原语结构.....	37	4.3.5 业务管理系统 SMS.....	76
2.2.6 SCCP 消息结构.....	38	4.3.6 业务生成环境 SCE.....	76
		4.4 智能网概念模型.....	77
		4.4.1 业务平面.....	77



4.4.2	总功能平面.....	79	5.5.1	几种 7 号信令适配协议的 比较	164
4.4.3	分布功能平面.....	80	5.5.2	M3UA 代理模式和转接 模式	169
4.4.4	物理平面.....	82	5.5.3	M3UA 协议	170
4.5	业务交换点 SSP	84	5.5.4	M3UA 基本信令流程	187
4.6	智能业务的触发——TDP 与业务键 ..	90	5.5.5	M3UA 需完善的地方	189
4.7	GSM 移动智能网	90	5.6	用户面承载协议	190
4.7.1	CAP 功能实体.....	91	5.6.1	IPBCP 的四个原语消息	192
4.7.2	接口说明.....	92	5.6.2	IPBCP 基本操作过程	194
4.7.3	CAP 协议在 7 号信令中的 位置.....	93	5.6.3	NbUP 协议	196
4.7.4	CAMEL 用户数据.....	93	5.7	BICC 协议	198
4.8	智能网呼叫举例	94	5.7.1	Nc 接口	198
4.8.1	智能网用户呼叫 PSTN 用户 ..	94	5.7.2	BICC 协议概述	198
4.8.2	普通用户呼叫智能网 PPS 用户	96	5.7.3	BICC 协议栈	206
思考题		99	5.7.4	语音编码协商及 TrFO	213
第 5 章	宽带协议	100	5.7.5	APM 消息	215
5.1	H.248 协议	100	5.7.6	BICC 信令流程	220
5.1.1	H.248 协议概述及功能	102	思考题		224
5.1.2	H.248 命令	110	第 6 章	GPRS 和 UMTS 分组网	226
5.1.3	描述符	115	6.1	GPRS 概述	226
5.1.4	包	121	6.2	电路数据交换和分组数据交换的 比较	226
5.1.5	H.248 信令流程	124	6.2.1	电路数据交换	226
5.2	RTP 与 RTCP 协议	129	6.2.2	分组数据交换	227
5.2.1	RTP/RTCP 协议层次和封装 ..	129	6.2.3	2G、3G 移动数据业务速率 ..	228
5.2.2	RTP 报文格式及含义	130	6.3	GPRS 体系结构图	229
5.2.3	RTCP 报文含义	132	6.3.1	主要网络实体	229
5.3	MTP3B 协议	133	6.3.2	主要网络接口	233
5.4	SCTP 协议	137	6.4	功能总揽	234
5.4.1	几个概念	138	6.4.1	网络接入控制功能	234
5.4.2	SCTP 功能	141	6.4.2	分组路由和转发功能	235
5.4.3	SCTP 原语	143	6.4.3	移动性管理功能	238
5.4.4	SCTP 协议消息	146	6.4.4	逻辑链路管理功能	238
5.4.5	SCTP 的特点	159	6.4.5	无线资源管理功能	238
5.4.6	SCTP 四次握手及抵抗 DoS 攻击的原理	160	6.4.6	操作维护功能	239
5.4.7	SCTP 基本信令	161	6.4.7	高层功能在各网络实体之间的 分配	239
5.5	SIGTRAN 协议	164			

6.5 PS 域用户数据传输平面	240	6.14 信息存储	261
6.5.1 3G 时 PS 用户面结构	240	6.14.1 HLR 签约的用户分组信息 ..	261
6.5.2 2G 时 PS 用户面结构	241	6.14.2 SGSN 存储的用户分组 信息	262
6.6 PS 域控制平面	241	6.14.3 GGSN 存储的用户分组 信息	264
6.6.1 PS 域控制面结构 (3G WCDMA)	241	6.14.4 MS 存储的分组信息	265
6.6.2 PS 域控制平面结构 (2G WCDMA)	242	6.14.5 RNC 存储的用户分组信息 ..	266
6.6.3 Gn/Gp 接口	243	6.14.6 UMTS PS 网络与 2G GPRS 网络的关系	267
6.6.4 PS 域 Gr、Gf、Gd 接口协议栈 结构	244	6.15 分组域计费	268
6.6.5 PS 域 Gc 接口协议栈结构	244	思考题	269
6.6.6 SGSN 与 MSC/VLR 间的 Gs 接口	245	第 7 章 软交换技术	270
6.7 SGSN 软件结构示意图	246	7.1 软交换概念	270
6.8 GGSN 软件结构示意图	246	7.2 软交换网络实体介绍	274
6.9 分组域网元寻址	247	7.3 软交换局接口及协议介绍	283
6.10 PS 域移动性管理	248	7.4 软交换局硬件介绍	289
6.10.1 移动性管理(MM)的状态 转换	248	7.5 软交换局软件介绍	300
6.10.2 终端 PS 域附着流程	249	7.6 关于核心网演进的问题	302
6.10.3 终端发起的分离	250	思考题	304
6.10.4 SGSN 发起的分离	251	第 8 章 IMS 网络	305
6.10.5 GGSN 发起的分离	252	8.1 IMS 的发展与应用	306
6.10.6 HLR 发起的分离	252	8.1.1 IMS 的发展	306
6.11 分组路由和传输	252	8.1.2 IMS 的主要应用	307
6.11.1 PDP 状态及转换	252	8.2 基于 IMS 的网络融合问题	308
6.11.2 会话管理	253	8.3 IMS 体系架构	309
6.11.3 静态地址和动态地址	253	8.3.1 IMS 媒体层(Media Layer)	309
6.11.4 PDP 上下文的激活规程	254	8.3.2 IMS 会话层(IMS Session Layer)	311
6.11.5 PDP 上下文的修改	255	8.3.3 应用和业务层(Application and Service Layer)	314
6.11.6 PDP 上下文的去激活	256	8.3.4 IMS 接口	317
6.12 业务流程举例	257	8.3.5 IMS 的互联互通	318
6.12.1 MS 发起分组数据业务	258	8.3.6 IMS 呼叫流程	320
6.12.2 网络发起分组数据业务	259	8.3.7 SIP 协议	325
6.13 用户数据传输	260	8.3.8 SIP 流程	334
6.13.1 MS 向外部数据网发送 数据	260	思考题	339
6.13.2 外部网络向 MS 发送数据	260		



第 9 章 MSC Pool.....	340
9.1 MSC Pool 原理.....	340
9.2 MSC Pool 实现原理.....	345
思考题.....	353
第 10 章 局数据制作.....	354
10.1 交换局本局数据.....	354
10.2 号码分析.....	358
10.2.1 号码分析的基本概念.....	359
10.2.2 号码分析流程.....	361
10.2.3 路由分析过程.....	373
10.2.4 一个号码分析的例子.....	374
思考题.....	376
第 11 章 移动终端选网和位置更新.....	377
11.1 移动终端选网.....	377
11.1.1 自动网络选择模式.....	380
11.1.2 手动选择网络模式.....	382
11.1.3 周期性 PLMN 搜索.....	383
11.1.4 存在 RAT 下的 PLMN 选择 举例.....	384
11.1.5 PLMN 匹配准则.....	384
11.1.6 终端对 EHPLMN 选择的 准则.....	384
11.1.7 其他影响选网因素.....	385
11.2 位置更新.....	387
11.2.1 正常位置更新.....	388
11.2.2 周期性位置更新.....	391
11.2.3 IMSI 附着位置更新.....	392
11.2.4 关于位置更新中几个特别 说明.....	393
思考题.....	393
参考文献.....	394

第1章 绪 论

通信(Communication)就是信息的传递,指由一个地方向另一个地方进行信息的传输与交换,其目的是实现信息传递。随着生产的发展,人们要求通信的距离不断扩大、信息量不断增长,对通信的要求也越来越高。在各种各样的通信方式中,利用“电”来传递消息的通信方法称为电信(Telecommunication),这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,较好地克服了时间、空间的限制。一般地,利用电子等技术手段,借助电信号(含光信号、电磁波)实现从一地向另一地对消息、情报、指令、文字、图像、声音或任何性质的消息进行有效的传递称为通信。

从本质上讲,通信就是实现信息传递的一门科学技术。其主要任务是将通信中一方希望传递的信息,尽可能快速、准确、安全地传递给目的接收者。当今的通信涉及信息的有效传递、信息存储、处理、采集及显示等功能,通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

1.1 通信的分类

在实际工作中,人们为了研究、交流的需要,从不同的角度对通信进行了分类。

根据传输消息的媒质的不同,可将通信分为两大类:无线通信和有线通信。前者采用了无线技术(如电磁波),通过无线的媒介来传输信息,后者则通过真实的物理材料连接进行通信(传输信息的方式因物理材料的差异而有所不同,如光缆中的光、铜线中的电)。

进一步的,无线通信又可细分为卫星通信、微波通信、短波通信、移动通信等,有线通信又可以分为电缆通信、光纤通信等。

在实际生活中,还可进一步细分。如移动通信,可以根据技术的发展阶段分为1G、2G、3G等;根据使用的通信技术标准不同,又可以分为WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA等。

根据传输信道使用的信号分为数字通信和模拟通信。信道是个抽象的概念,可理解为传输信号的通路。通常信道中传送的信号可分为数字信号和模拟信号,因此,通信可相应地分为数字通信和模拟通信。

事实上,任何信号的某一参量(如连续波的振幅、频率、相位,脉冲波的振幅、宽度、位置等)都可以作为信息传递的载体,也就是说,这些参量可以单独或组合来表示传递信息的变化。当这些参量没有进行数字化时,也即它们可以是连续的、有无限多个值,且参量的变化是直接与消息相对应的,称为模拟信号。模拟信号有时也称连续信号,这个连续是指信号的某一参量可以连续变化(即可以取无限多个值),而不一定是在时间上一直连续,例如脉冲振幅调制(PAM)信号,经过调制后已调信号脉冲的振幅是可以连续变化的,但在时间上是不连续的。这里指的某一参量是指我们关心的并作为研究对象的那一个参量,绝不是仅指时间参量。当然,参量连续变化、时间上也连续变化的信号,毫无疑问也是模拟信号,如强弱连续变化的语言信号、亮度连续变化的电视图像信号等都是模拟信号。



凡信号的某一参量只能取有限个数值,并且常常不直接与消息相对应的,称为数字信号。数字信号有时也称离散信号,这个离散是指信号的某参量是离散(不连续)变化的,而不一定是在时间上离散。事实上,在信道中传播的大多为模拟信号,数字通信是通过对其参量的变化进行数字化而实现的。数字通信的好处是,可以较好地克服通信过程中的干扰,提升信息传递的准确性。

按工作频段分,通信通常可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。表 1-1 列出了通信中使用的频段及主要用途,该表仅供参考。

表 1-1 通信中使用的频段及主要用途

频率范围(f)	波长(λ)	符 号	常用传输媒介	用 途
3Hz~30kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频 VLF	有线线对长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
30kHz~300kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	低频 LF	有线线对长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz~3MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频 MF	同轴电缆中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3MHz~30MHz	$10^2 \sim 10$ m	高频 HF	同轴电缆短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30MHz~300MHz	$10 \sim 1$ m	甚高频 VHF	同轴电缆米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300MHz~3GHz	$100 \sim 10$ cm	特高频 UHF	波导分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3GHz~30GHz	$10 \sim 1$ cm	超高频 SHF	波导厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30GHz~300GHz	$10 \sim 1$ mm	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
10^5 GHz~ 10^7 GHz	$3 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-8}$ m	紫外、可见光 红外	光纤 激光空间传播	光通信

按调制方式分,通信可分为基带传输和频带传输。所谓基带传输,是指信号没有经过调制而直接送到信道中去传输的一种方式;而频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输,接收端有相应解调措施的通信系统,如调幅、调频、调相、码分等。

另外,还可以根据通信方式的不同,对通信进行分类。

一般通信仅在点对点之间进行,或一点对多点之间进行,那么按消息传送的方向与通信双方使用时间的不同,通信的工作方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信,如图 1-1 所示。

单工通信是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式,如广播、无线寻呼等,其信号(消息)只从广播发射台、无线寻呼中心传送到收音机或 BP 机上。

半双工通信方式是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的形式,如公安使用的对讲机。

全双工通信是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式。这种方式双方可同时进行收发消息,全双工通信的信道必须是双向信道,如家用电话、手机等。

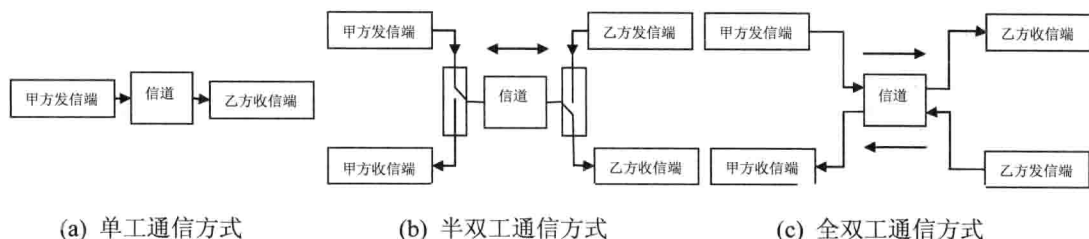


图 1-1 通信的工作方式

在数字通信中,按照处理数字信号排列的顺序不同,可将通信方式分为串序传输和并序传输。所谓串序传输,是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式,如 USB 移动硬盘和电脑之间的通信;如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则称为并序传输,如电脑中 CPU 和内存之间的通信,如图 1-2 所示。

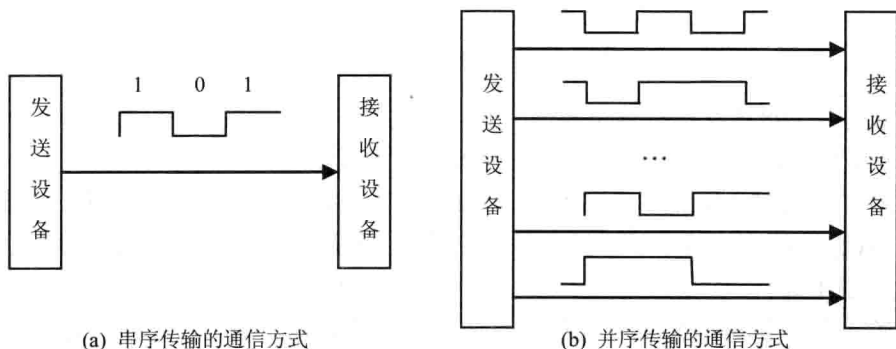


图 1-2 通信传输方式

一般的数字通信方式大都采用串序传输,这种方式的优点是只需占用一条通路,缺点是占用时间相对较长;并序传输方式在通信中也时有用到,它需要占用多条通路,优点是传输时间相对较短。

按照时钟同步方式的不同,通信可以分为异步通信和同步通信。所谓的同步异步,最大的区别应该在于:同步中传输方和接受方使用同步时钟(即波特率是一样的,时序是一样的),而异步通信允许双方使用不同的时钟。典型的同步通信,如同步数字体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)通信,是在统一的时钟下进行的;典型的异步通信,如 RS232,发送者和接收者之间无时钟线连接,发送者的时钟和接收者的时钟是独立运行的。

同步通信双方必须先建立同步,即双方的时钟要调整到同一个频率。收发双方不停地发送和接收连续的同步比特流。有两种不同的同步方式。一种是使用全网同步,用一个非常精确的主时钟对全网所有节点上的时钟进行同步。另一种是使用准同步,各节点的时钟之间允许有微小的误差,然后采用其他措施实现同步传输,如图 1-3 所示。

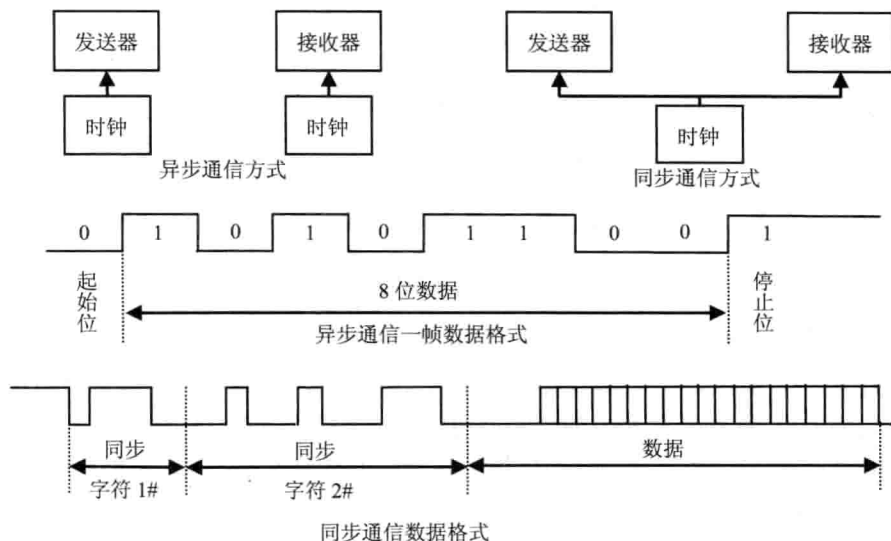


图 1-3 异步通信和同步通信

同步通信是一种连续串行传送数据的通信方式，一次通信只传送一帧信息。这里的信息帧与异步通信中的字符帧不同，通常含有若干个数据字符。

采用同步通信时，将许多字符组成一个信息组，这样，字符可以一个接一个地传输，在每组信息(通常称为帧)的开始要加上同步字符，在没有信息要传输时，要填上空字符，因为同步传输不允许有间隙。在同步传输过程中，一个字符可以对应 5~8 位。当然，对同一个传输过程，所有字符对应同样的数位，比如说 n 位。这样，传输时按每 n 位划分为一个时间片，发送端在一个时间片中发送一个字符，接收端则在一个时间片中接收该字符。

同步传输时，一个信息帧中包含许多字符，每个信息帧用同步字符作为开始，一般将同步字符和空字符用同一个代码。接收端能识别同步字符的，当检测到有一串数位和同步字符相匹配时，就认为开始一个信息帧，于是，把此后的数位作为实际传输信息来处理。

异步通信是一种很常用的通信方式。异步通信在发送字符时，所发送的字符之间的时间间隔可以是任意的，接收端必须时刻做好接收的准备。发送端可以在任意时刻开始发送字符，因此必须在每一个字符的开始和结束的地方加上标志，即加上开始位和停止位，以便使接收端能够正确地将每一个字符接收下来。异步通信的好处是通信设备简单、便宜，但传输效率较低(因为开始位和停止位的开销所占比例较大)。

事实上，无论是异步通信还是同步通信，都要求双方的时钟频率基本一致。对于接收方，时钟信号在对接收到的信号进行识别过程中扮演至关重要的角色。只是同步通信双方时钟的允许误差较小；异步通信简单，双方时钟可允许一定误差。

按照组网方式分，通信的网络通常可分为三种：点到点通信方式、点到多点通信(分支)方式和多点到多点通信(交换)方式，如图 1-4 所示。

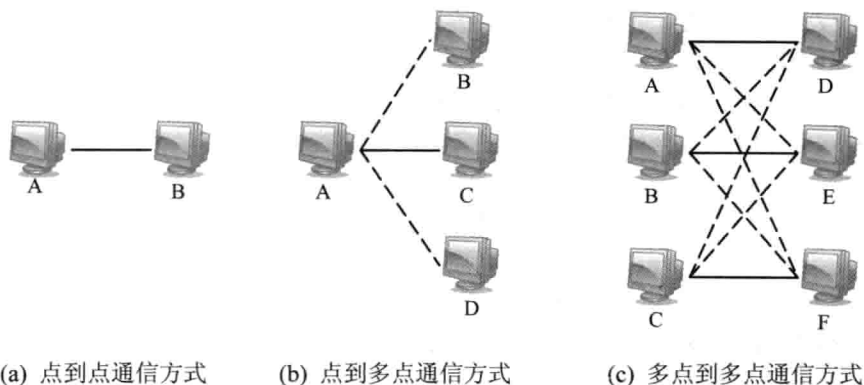


图 1-4 通信网络

1.2 通信系统模型

通信的任务是完成消息的传递和交换。以点到点通信为例，可以看出，要实现消息从一地向另一地的传递，必须有三个部分：一是发送端，二是接收端，三是收发两端之间的信道，如图 1-5 所示。

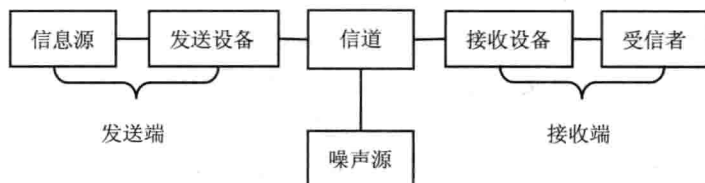


图 1-5 通信系统模型

信息源简称信源，是信息的发出处。受信者简称信宿，是信息的归宿处。根据信源输出信号性质的不同可分为模拟信源和离散信源，如模拟电话机为模拟信源，计算机为离散信源。两种信号形式通过模数转换设备可以互相转化。

发送设备的作用就是将信源产生的信号变换为适应传输信道所需要的信号，并送往信道。这种变换根据对传输信号的要求不同有相应不同的变换方式，通常要求实现发射功率放大、频谱搬移、信源编码、信道编码、多路复用、保密处理等，其相应的变换方式为功率放大、调制、模/数转换、纠错编码、FDMA 或 TDMA 或 CDMA、加密技术等。

信道是指传输信号的通道，是从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的媒介，可以是无线的，也可以是有线的，或者是两者的组合。信道既是信号的通路，同时也是其他各种干扰和噪声的载体，其干扰和噪声的性能由传输媒介的固有特性所决定。图 1-5 中噪声源是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。这并不表示通信中一定会有一个集中的噪声源，而是为了简化分析、讨论问题而等效设置的。

接收设备的基本功能是从带有干扰的信号中正确地恢复出原始信号，完成发送设备关于信号所做的处理的反变换，即进行接收放大、解调、数/模转换、纠错译码、FDMA 或 TDMA 或 CDMA 的分路、解密等。



图 1-5 仅仅展示的是一个单向通信系统模型, 实际通信系统要实现双向通信, 通信的双方需要随时交流信息, 信源兼为信宿, 双方都要有发送设备和接收设备。如果两个方向用各自的传输媒介, 则双方都独立地进行发送和接收; 如果两个方向共用一个传输媒介, 则必须采用频率、时间或代码分割的办法来实现资源共享。

1.3 信道和香农公式

1.3.1 传输信道

对于有线传输信道, 目前在用的有: 双绞线(如 5 类以太网线缆)、同轴电缆(如电视信号电缆、电信用 2M 线缆)、光纤(如电信运营商骨干传输网的缆线)等。不同的线缆, 其物理结构不同、工作原理不同, 对信息传输的传送距离、抗干扰能力、传输信息量的能力等都不同, 应根据实际需要进行选用。

无线信道主要由无线电波和光波作为传输载体。频率高低不同的电磁波, 传播的特性也不同, 同时根据介质的不同以及介质分界面对电磁波传播产生的影响不同, 可将电磁波传播方式分为地表传播、天波传播、视距传播、散射传播、对流层电波传播和电离层散射传播。

1. 地表传播

当接收天线距离发射天线较远时, 地球的球面特性就开始显现, 那些走直线的电波有的可能无法到达接收方, 只有某些电磁波能够沿着地球表面的部分能被接收。这种沿着地球表面传播的电磁波就叫地波, 也叫表面波。地面波沿着地球表面的传播方式, 称为地表传播。其特点是信号比较稳定, 但电波频率越高, 地面波随距离的增加衰减越快。因此, 这种传播方式主要适用于长波和中波波段。

2. 天波传播

在大气层中从平流层以上直到 1000km 的区域称为电离层。电离层对于普通电磁波形成了一种天然的反射体, 电波射到电离层就会被反射回来, 走这一途径的电波就称为天波或反射波。在电波中, 主要是短波具有这种特性。

3. 视距传播

若收、发天线离地面的高度远大于波长, 电波直接从发信天线传到收信地点的方式称为视距传播。这种传播方式仅限于视线距离以内。目前广泛使用的超短波通信和卫星通信均属这种传播方式。在视线传播的情况下, 如果收发天线离地高度远大于波长, 则接收点处的地波可归结为直射波与地面反射波相干涉的结果。因为这种情况下对流层的折射影响必须考虑, 所以将它归入对流层传播。微波中继通信即是这种传播方式。

4. 散射传播

散射传播是利用对流层或电离层中介质的不均匀性或流星通过大气时的电离余迹对电磁波的散射作用来实现超视距传播的。这种传播方式主要用于超短波和微波远距离通信。

超短波的传播特性比较特殊, 它既不能绕射, 也不能被电离层反射, 而只能以直线传

播。以直线传播的波就叫作空间波或直接波。由于空间波不会拐弯,因此它的传播距离就受到限制。发射天线架得越高,空间波传得越远,其传播距离仍受到地球球面的影响,实际只有 50km 左右。超短波不能被电离层反射,能穿透电离层,所以可以利用空间波进行空-地通信。

5. 对流层电波传播

无线电波在对流层与平流层中的传播,简称为对流层电波传播。对流层的折射指数,在 20GHz 以下的频率及其他大气窗口与频率无关,因而对流层通常是一种非色散介质。由于折射指数的空间变化,电波射线会因折射而弯曲。在对流层中,气体分子与水汽凝聚物(云、雾、雨、雪等)对电波有吸收与散射作用。波长大于 3cm 的电波,所受的吸收作用十分微弱;波长小于 3cm 时,需要考虑水汽和氧的吸收。在毫米波与亚毫米波频段,对流层有许多吸收较小的频带,通常称为大气窗口。

6. 电离层电波传播

这是指无线电波在电离层中的传播。在这种情况下的电波传播,往往要受地磁场的影响,特别是还依赖于地磁场强度和传播方向。在特定条件下,可以忽略地磁场的影响,电离层的折射指数只依赖于电波频率、碰撞频率和电子浓度,电离层表现为一种各向同性的色散介质。

甚高频段电波基本能透过电离层,在一定条件的少数情况下,也能在电离层反射,它在电离层中发生的散射现象能加以利用。微波段电波能透过电离层,它的折射很小。长波、超长波波段的电波,大部分在电离层低层的下缘被反射。在实际通信中往往根据不同场合选择传播方式中的一种作为主要的传播途径,但也有几种传播方式并用来传播无线电波的。一般情况下都是根据使用波段的特点,利用天线的方向性来限定一种主要的传播方式。

1.3.2 信道噪声

信道内噪声的来源很多,它们表现的形式也多种多样。根据它们的来源不同,我们可以粗略地分为四类。

1) 无线电噪声

无线电噪声来源于各种用途的无线电发射机。这类噪声的频率范围很宽广,从甚低频到特高频都可能有无线电干扰存在,并且干扰的强度有时很大。但它有个特点,就是干扰频率是固定的,因此可以预先设法防止。特别是在加强了无线电频率的管理工作后,无论在频率的稳定性、准确性还是谐波辐射等方面都有严格的规定,使得信道内信号受它的影响可减到最小限度。

2) 工业噪声

工业噪声来源于各种电气设备,如电力线、点火系统、电车、电源开关、电力铁道、高频电炉等。这类干扰来源分布很广泛,无论是城市还是农村,内地还是边疆,各地都有工业干扰存在。尤其是在现代社会里,各种电气设备越来越多,因此这类干扰的强度也就越来越大。但它的特点,就是干扰频谱集中于较低的频率范围,例如几十兆赫兹以内。因此,选择高于这个频段工作的信道就可防止受到它的干扰。另外,也可以在干扰源方面设法消除或减小干扰的产生,例如加强屏蔽和滤波措施,防止接触不良和消除波形失真等。



3) 天电噪声

天电噪声来源于雷电、磁暴、太阳黑子以及宇宙射线等。可以说整个宇宙空间都是产生这类噪声的根源,因此它的存在是客观的。由于这类自然现象和发生的时间、季节、地区等有很大关系,因此受天电干扰的影响也是大小不同的。例如,夏季比冬季严重,赤道比两极严重,在太阳黑子发生变动的年份天电干扰加剧。这类干扰所占的频谱范围也很宽,并且不像无线电干扰那样是频率固定的,因此对它的干扰影响就很难防止。

4) 内部噪声

内部噪声来源于信道本身所包含的各种电子器件、转换器以及天线或传输线等。例如,电阻及各种导体都会在分子热运动的影响下产生热噪声,电子管或晶体管等电子器件会由于电子发射不均匀等产生器件噪声。这类干扰的特点是由无数个自由电子作不规则运动所形成,因此它的波形也是不规则变化的,如果在示波器上观察就会看到一堆杂乱无章的信号,通常称之为起伏噪声。由于在数学上可以用随机过程来描述这类干扰,因此又可称为随机噪声,或者简称为噪声。

以上是按噪声的来源来分类的,比较直观。但是,从防止或减小噪声对信号传输影响的角度来分析,按噪声的性质来分类更为有利。按噪声的性质来区分可分为以下几种。

1) 单频噪声

单频噪声主要指无线电干扰。由于电台发射的频谱集中在比较窄的频率范围内,因此可以近似地看作是单频性质的。另外,像电源交流电、反馈系统自激振荡等也都属于单频干扰。它是一种连续波干扰,并且其频率是可以通过实测来确定的,因此在采取适当的措施后就有可能防止。

2) 脉冲干扰

脉冲干扰包括工业干扰中的电火花、断续电流以及天电干扰中的雷电等。它的特点是波形不连续,呈脉冲性质,并且发生这类干扰的时间很短,强度很大,且周期是随机的,因此它可以用随机的窄脉冲序列来表示。由于脉冲很窄,所以占用的频谱必然很宽。但是,随着频率的提高,频谱幅度就逐渐减小,干扰影响也就减弱。因此,在适当选择工作频段的情况下,这类干扰的影响也是可以防止的。

3) 起伏噪声

起伏噪声主要指信道内部的热噪声和器件噪声以及来自空间的宇宙噪声。它们都是不规则的随机过程,可以采用大量统计的方法采用概率分布来描述其特性。由于它来自信道本身,因此它对信号传输的影响是无法避免的。

常见的几种噪声如下。

1) 白噪声

所谓白噪声,是指它的功率谱密度函数在整个频率域($-\infty < \omega < +\infty$)内是常数,即服从均匀分布。实际上完全理想的白噪声是不存在的,通常只要噪声功率谱密度函数均匀分布的频率范围超过通信系统工作频率范围很多时,就可近似认为是白噪声。例如,热噪声的频率可以高达 10^{13} Hz,且功率谱密度函数在 $0 \sim 10^{13}$ Hz 内基本均匀分布,因此可以将它看作白噪声。

2) 高斯噪声

高斯噪声,是指它的概率密度函数服从高斯分布(即正态分布)的一类噪声,可用数学表达式表示为: