



TIELU TONGXIN JISHU

铁路通信技术

■ 王邠 等 编著    ■ 吕永昌 袁孝钧 王予平 审

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

# 铁路通信技术

王 邈 等 编著

吕永昌 袁孝钧 王予平 审

中国铁道出版社

2008年·北京

## 内 容 简 介

本书全面系统地介绍了铁路通信技术的原理及其应用。全书共分为七章,分别介绍了通信基础知识;铁路专用通信;数字调度通信;FH98 和 CTT 2000 L/M 铁路数字专用通信系统;铁路数字移动通信系统(GSM-R)的组网结构、系统功能及工作原理;视频会议系统的结构及工作原理;城市轨道交通通信系统的组成及基本原理。通过对本书的学习,可以对铁路通信技术有一个较全面的了解和掌握。

本书可作为铁路高等职业教育及城市轨道交通企业职工的培训教材,也可作为从事铁路专用通信的工程技术人员和科技人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

铁路通信技术/王邠等编著. —北京:中国铁道出版社, 2008. 12  
ISBN 978-7-113-09569-7

I. 铁… II. 王… III. 铁路通信—技术 IV. U285

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 000210 号

书 名: 铁路通信技术

作 者: 王 邠 等

---

责任编辑: 魏京燕 电话: 021-73115 (路), 010-51873115 (市)

编辑助理: 朱雪玲

封面设计: 崔 欣

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

---

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

版 次: 2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1 092mm 1/16 印张: 14.75 字数: 380 千

书 号: ISBN 978-7-113-09569-7/TN·169

定 价: 35.00 元

---

## 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010) 51873170, 路电(021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010) 63549504, 路电(021) 73187

# 前 言

铁路通信是铁路运输的重要组成部分,是铁路信息化的基础,是铁路实现集中统一指挥的重要手段,是保证行车安全、提高运输效率和改进管理水平的重要基础设施。

铁路通信通过对信息的采集、处理、传递和控制,与铁路其他部门协同工作,保证列车的正常运行以及各项运输作业和管理工作的顺利进行。一旦通信不通,铁路运输将陷于瘫痪,整个国民经济将遭受严重损失。

目前,以通信技术和计算机技术为主体的现代信息技术已经渗透到铁路各个部门,对于推进铁路现代化建设具有关键性作用。今后,在提高整车重量、增加行车密度、提高行车速度和保证行车安全的进程中,铁路通信将进一步做出重要贡献。因此,人们将铁路通信比喻为铁路的中枢神经系统,在铁路运输中具有极为重要的地位。

随着现代通信技术、计算机技术的发展,铁路通信也在技术及设备上不断地进行了技术更新。为了满足铁路通信技术数字化的要求,相关部门研发了新一代铁路数字调度通信设备;为了适应铁路“高速、重载、高密”的发展,采用了数字移动通信系统 GSM-R。

为此,急需编写反映铁路通信技术现状和发展的适用教材,为铁路通信的技术进步和人才培养提供支持和保证。本书参考了铁路通信的最新文献,分七章对通信基础知识、铁路专用通信、数字调度通信、FH98 和 CTT 2000 L/M 铁路数字专用通信系统、铁路数字移动通信系统(GSM-R)、视频会议系统、城市轨道交通通信系统等内容做了较详细的介绍。

本书在介绍铁路传统的通信技术和设备的同时,亦介绍了铁路通信的新技术、新设备,尽量将一个先进的符合铁路现场实际和发展的铁路通信系统介绍给大家。

本书的特点为:

(1) 本书内容由浅入深,首先介绍了通信基础知识,然后依次介绍了铁路通信的各个子系统。为了满足铁道信号技术的要求,在基础知识中增加了扩频通信,并介绍了扩频通信在信号中的应用。

(2) 本书内容完整、系统,各章节又有一定的独立性。读者可根据自己的需要选读有关内容。

(3) 本书内容新颖、覆盖面广,包括了铁路通信和城轨通信的主要技术。

(4) 本书在讲清当前铁路通信技术的基础上,尽量兼顾了国内铁路通信技术的最新技术和设备。

本书由南京铁道职业技术学院王邰主编,其中,第 1、2、4、7 章由王邰编写;第 3 章参考了沈尧星的《铁路数字调度通信》;第 5 章参考了沈尧星的《铁路数字调度通信》、朱惠忠等人的《GSM-R 通信技术与应用》;第 6 章由晏蓉、王邰编写。全书由吕永昌、袁孝钧、王予平审定。编者感谢在本书编写过程中提供大量帮助的中国软件与技术服务股份有限

公司、北京佳讯飞鸿电气有限责任公司。感谢许多同行的大力支持和帮助。

由于时间仓促,加上资料搜集不全,编者水平所限,本书中错误、不妥之处在所难免,望读者给予提出批评指正,不断提高教材质量。

编者

2008 年 12 月

# 目 录

|                                                   |            |
|---------------------------------------------------|------------|
| <b>第 1 章 通信基础知识 .....</b>                         | <b>1</b>   |
| 第 1 节 通信系统的基本概念 .....                             | 1          |
| 第 2 节 光 纤 通 信 .....                               | 7          |
| 第 3 节 移 动 通 信 .....                               | 15         |
| 第 4 节 扩 频 通 信 .....                               | 27         |
| 第 5 节 铁路通信的重要性 .....                              | 35         |
| <b>第 2 章 铁路专用通信 .....</b>                         | <b>39</b>  |
| 第 1 节 铁路专用通信的业务 .....                             | 39         |
| 第 2 节 铁路专用通信的特点和要求 .....                          | 40         |
| 第 3 节 铁路调度通信 .....                                | 41         |
| <b>第 3 章 数字调度通信 .....</b>                         | <b>46</b>  |
| 第 1 节 数字调度通信的基础知识 .....                           | 46         |
| 第 2 节 数字调度通信系统 .....                              | 60         |
| 第 3 节 铁路调度通信网络 .....                              | 70         |
| <b>第 4 章 FH98 和 CTT 2000 L/M 铁路数字专用通信系统 .....</b> | <b>78</b>  |
| 第 1 节 FH98 铁路数字专用通信系统 .....                       | 78         |
| 第 2 节 CTT 2000 L/M 专用数字通信系统 .....                 | 111        |
| <b>第 5 章 铁路数字移动通信系统(GSM-R) .....</b>              | <b>121</b> |
| 第 1 节 GSM-R 的网络结构 .....                           | 121        |
| 第 2 节 GSM-R 的组网方式 .....                           | 134        |
| 第 3 节 GSM-R 调度通信网络内的通信过程 .....                    | 135        |
| 第 4 节 GSM-R 的应用 .....                             | 138        |
| <b>第 6 章 视频会议系统 .....</b>                         | <b>148</b> |
| 第 1 节 视频会议系统的结构 .....                             | 149        |
| 第 2 节 视频会议系统的分类 .....                             | 151        |
| 第 3 节 视频会议系统的组网 .....                             | 156        |
| 第 4 节 视频会议系统的维护及故障处理 .....                        | 162        |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第7章 城市轨道交通通信系统 .....              | 165 |
| 第1节 传输系统 .....                    | 165 |
| 第2节 专用通信系统 .....                  | 170 |
| 附录一 FH98 远程维护台的接入方法 .....         | 179 |
| 附录二 FH98 多通道录音仪 .....             | 184 |
| 附录三 FH98 模拟调度总机 .....             | 190 |
| 附录四 FH98 各种电路板指示灯的含义 .....        | 192 |
| 附录五 FH98 电路板对应的卡接块内外线端子卡接方法 ..... | 198 |
| 附录六 FH98 各种背板及操作台按键图 .....        | 202 |
| 附录七 FH98 系统技术要求和接口指标检验 .....      | 205 |
| 附录八 FH98 数据配置维护举例 .....           | 209 |
| 附录九 FH98 维护台显示告警及故障处理 .....       | 221 |
| 附录十 FH98 故障及解决方法汇总 .....          | 223 |
| 参考文献 .....                        | 229 |

# 第1章 通信基础知识

## 第1节 通信系统的基本概念

### 一、通信的概念和通信系统的组成

人们生活在信息的时代,离不开信息的传递与交流。信息具有不同的载体形式,如符号、文字、语言、数据、图像等。信息的传输是利用通信系统来实现的,通信的目的就是传输信息,通信就是信息的传递和交换,就是由一个地方向另一个地方传送消息。通信系统就是用电信号或光信号传递信息的系统,也叫电信系统。其基本组成包括信源、变换器、信道、反变换器、信宿及噪声源6个组成部分。通信系统的模型如图1-1所示。

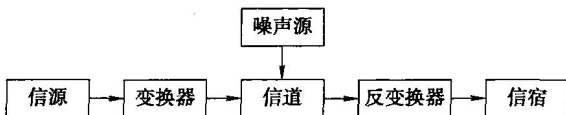


图 1-1 通信系统的模型

#### 1. 信 源

信源是指发出信息的信息源,或简单地说是信息的发出者,是指产生各种信息(如语音、文字、图像及数据等)的源头,即原始信息来源。信息源可以是离散的数字信息源,也可以是连续的模拟信息源。它的作用是把各种可能的信息转换成相应的电信号。通常见到的信息源可以是人,也可以是机器(如电话机、摄像机、电传机、计算机和各种数字终端设备等)。

#### 2. 变 换 器

变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号,即将信源产生的消息信号变换为便于传送的信号形式,送往传输媒介。这是因为信源提供的原始电信号往往不适宜在信道中直接传输。对应不同的信源和不同的通信系统,变换器有不同的组成和变换功能。例如,在模拟电话通信系统中,变换器由送话器和载波机(包括放大器、滤波器和调制器)等组成,其中送话器将人发出的语音信号变换为电信号;载波机的作用是将送话器输出的电信号(频率范围0.3~3.4 kHz)经过频率搬移、频分复用处理后,变换成适合于在模拟信道上传输的信号。而对于数字电话通信系统,变换器则包括送话器和模/数变换器等。模/数变换器的作用是将送话器输出的模拟语音信号经过模/数变换和时分复用等处理后,变换成适合于在数字信道中传输的信号。

#### 3. 信 道

信道是信号传输媒介的总称。信道按传输媒介的种类分类可以分为有线信道和无线信道。在有线信道中,电磁信号(或光信号)约束在某种传输线(架空明线、电缆、光缆等)

上传输,在无线信道中电磁信号沿空间(大气层、对流层、电离层等)传输。信道如果按传输信号的形式分类又可以分为模拟信道和数字信道。

#### 4. 反变换器

反变换器具有与变换器相反的逆变换功能。反变换器的作用是将从信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信息。它的任务是从带有干扰的信号中正确恢复出原始电信号来;对于多路复用信号,还包括解除多路复用,实现正确分路。

#### 5. 信 宿

信宿是信息的接收者,是传输信息的归宿点,可以是人或机器。受信者与信息源对应构成人与人的通信、机与机的通信、人与机或机与人的通信。

#### 6. 噪 声 源

噪声源并不是一个人为实现的实体,但在实际通信系统中又是客观存在的。噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果。系统的噪声来自各个部分,从发出信息和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件,到信道所受到的外部电磁场干扰,都会对信号形成噪声影响。将系统内所存在的干扰均折合到信道中,用噪声源表示。

## 二、信息与信号

### 1. 信、 息

信息同物质和能量一样,是人类赖以生存和发展的基础,是人类社会进行沟通、交流的纽带。信息的概念具有广泛的内涵,人们从不同侧面对信息进行了定义,通常的定义为:信息是对客观世界中各种事物的变化和特征的反映,对使用者具有价值或潜在的价值,是客观事物之间相互作用和联系的表征以及经过传递后的再现。因此,信息不是事物本身,而是事物的存在方式和运动状态,以及关于事物存在方式和运动状态的陈述。

消息、信号、数据及资料均是信息的具体表现形式。信息的基本特征包括以下几个方面:

#### (1) 传 递 性

信息总是处在一定的传递过程中,与物质流、能量流相融合形成信息流,没有传递就没有信息。信息的传递因现代通信技术的出现,特别是因特网的大规模使用,真正实现了“信息无国界”。

#### (2) 时 效 性

无论是信息的产生、传递还是利用,都有一定的时间期限。信息随时间的变化而变化,只有掌握了最新信息,并及时有效地加以利用,才能实现其价值,创造财富。

#### (3) 累 积 性

信息从不同的侧面反映事物存在与发展状况,因而随着时间的延续,信息在不断积累和增长。再生性信息在流通使用过程中,可以分析、综合,亦可进行提炼、加工,从而获得更为广泛的知识。

#### (4) 共 享 性

信息不仅可同时为众多的使用者所共享,而且还会因交流而呈现出内容的倍增。信息的共享性使信息资源通过多种渠道和传输手段加以扩展,从而获得广泛的利用。因特网的出现和高速发展,将最大限度地实现信息共享。

### (5) 无 限 性

物质和能量都是有一定储量的,信息资源却不是这样,它会不断扩充,不仅没有限度,而且永远不会耗尽,越来越多,迅速增长。“信息爆炸”、“知识爆炸”与“石油枯竭”、“粮食危机”、“水资源危机”呈现出鲜明的对比。

信息除了以上的基本特征外,还具有其他一些特征,如客观性、目的性、开发性、普遍性、科学性、替代性以及可编性等,这些都构成了信息的复杂性。

## 2. 信 号

信息是指消息中包含的有意义的内容,它是通过信号来表达的,信号是信息的载体。信号是指随时间变化的物理量。因为消息不适合于在信道中直接传输,需将其调制成适合在信道中传输的信号。在通信系统中传输的信号是由某些电的参量(如电压、电流等物理参量)表示的。在通信系统中常见的信号有:语音信号、图像信号和数据信号等。信号根据物理参量基本特征的不同,可分为模拟信号和数字信号。

### (1) 模拟信号

模拟信号是时间和幅度都为连续值的信号,如图 1-2 所示。好像模拟信息变化,其特点是幅度上连续,因此称为模拟信号。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。将时间上连续的和幅度上连续的信号叫做连续信号。例如语音信号、摄像机产生的图像信号等,它们的电压(或电流)波形的取值为连续的时间函数。以幅度代表信息变化的信号,幅度是连续的,且在时间上也是连续的,语音信号、图像信号及遥测、遥控等信号就是属于时间连续的模拟信号,而脉冲幅度调制(PAM)、脉冲相位调制(PPM)和脉冲宽度调制(PWM)等信号则为时间上不连续的模拟信号。

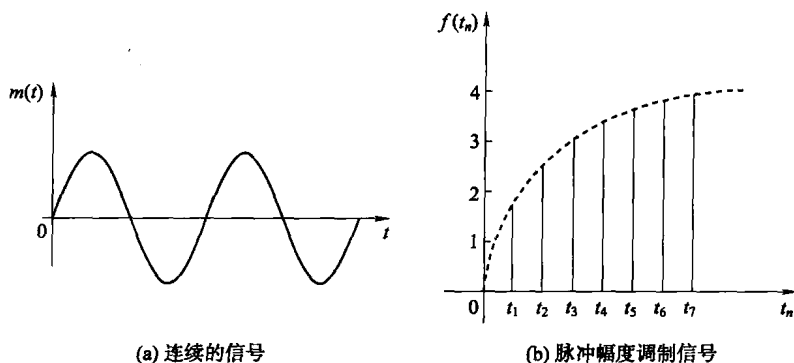


图 1-2 模拟信号示意图

### (2) 数字信号

数字信号,又称离散信号,不仅在时间上,而且在幅度上也是离散的,如图 1-3 所示。其特点是幅值被限制在有限个数值之内,它不是连续的,而是离散的。例如,电传电报机信号、计算机信号、数字电话信号及数字电视信号等。这种信号的取值为有限个离散值,且不是时间的连续函数。一般而言,数字信号的幅度集合是任意有限集合,最常用的是二进制数字信号。二进制就是只有两种取值的可能性,通常用(0,1)表示。在数字通信中常用时间间隔相同的符号来表示一位二进制数字。

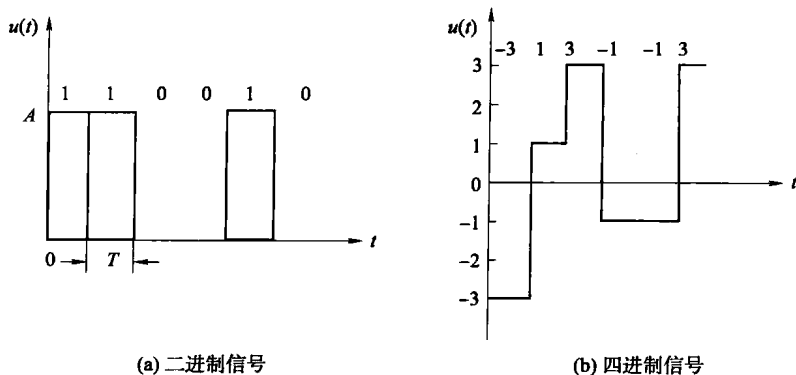


图 1-3 数字信号示意图

### 三、模拟通信与数字通信

#### 1. 模拟通信

信源所发出的信息经变换器变换和处理后,送往信道上传输的是模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。发送端的原始连续消息要变换成原始电信号,接收端收到的信号要反变换成原始连续消息。通常还要把经过第一次变换后的电信号再进行第二次变换,这种第二次变换称为调制,调制即是将原始电信号变换成其频带适合信道传输的信号。已调信号通过信道传输到接收端的解调器和电/非电变换器,它们起着反变换的功能。解调即是在接收端将信道中传输的信号还原成原始的电信号。经过调制后的信号成为已调信号,发送端调制前和接收端解调后的信号称为基带信号。因此,原始电信号又称为基带信号,而已调信号又称为频带信号。模拟通信在信道中传输的信号频谱比较窄,可以通过多路复用使信道的利用率提高。

模拟通信的缺点是:传输的信号是连续的,叠加噪声干扰后不易消除,即抗干扰能力较差;不易保密通信;设备不易大规模集成;不适应飞速发展的计算机通信的要求。

#### 2. 数字通信

与模拟通信相对应,信源所发出的信息经变换和处理后,送往信道上传输的是数字信号的通信系统称为数字通信系统。在数字通信中,传送的是数字信号。概括地说,数字通信就是把原始模拟信号变换成简单的数字形式,再传送给对方的通信方式。

##### (1) 模拟信号的数字化

以脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)来说,采用 PCM 的办法把模拟信号数字化,一般要通过下述 3 个步骤:

第一步:对模拟信号进行“抽样”(Sampling),这是将连续信号在时间上离散化的过程。

第二步:将已在时间上离散化了的信号进行“量化”(Quantization),这是将时间上离散化的信号在幅度上也离散化的过程。

第三步:将时间上和幅度上都已离散化了的信号进行“编码”(Encode),使其成为适合于信道传输的数字形式,这是完成数字化的最后过程。完成了编码过程之后,模拟信号已转换成适合于信道传输的波形,通过信道传输到对方,对方收到传输的信号后再进行反

变换,最后通过低通滤波器即可重新得到原来的模拟信号。

## (2) 数字通信的特点

### a. 抗干扰能力强,无噪声积累

在数字通信中,由于数字信号的幅度值为有限个数的离散值(通常取两个幅值),在传输过程中受到噪声干扰虽然也要叠加噪声,但当信噪比还没有恶化到一定程度时,即在适当的距离,采用再生的方法即可消除噪声干扰,将信号再生成原发送的信号。

数字信号是取有限个离散幅度值的信号,在信道中传输时,则可以在间隔适当距离处采用中继再生的办法消除噪声的积累,还原信号,实现长距离、高质量的传输。

在模拟通信中,传输的是幅值连续变化的模拟信号,受到干扰后,干扰信号就会叠加在信号波形上,并逐渐积累,又经逐级放大,使有用信号产生严重的畸变,一般很难完全恢复原始信号波形。在数字通信中,即使传输中有干扰信号存在,通过再生中继,也可以有效地消除干扰信号的积累,使接收端能正确识别出所传输的信号;另一方面,数字通信系统可通过信道编码/解码来实现检错和纠错,这就使数字通信系统比模拟通信系统具有更强的抗干扰能力。

### b. 设备便于集成化、小型化

数字通信采用时分多路复用,不需要昂贵的、体积较大的滤波器。由于数字通信系统中大部分电路都是由数字电路来实现的,微电子技术的发展可使数字通信便于用大规模和超大规模集成电路制成体积小、功耗低且成本低的设备来实现。

### c. 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性越来越受到重视,数字通信的加密处理比模拟通信更容易实现。以语音数字通信为例,经过数字变换后的信号就可以用简单的数字逻辑运算进行加密处理。

### d. 利于采用时分复用实现多路通信

数字信号本身可以很容易用离散时间信号表示,在两个离散时间之间可以插入多路离散时间信号,以实现时分多路复用。在数字通信中,各种消息(电报、电话、图像和数据等)都可以变换为统一的二进制信号进行传输。在通信过程中,可以采用时分复用实现多路通信。时分复用是指各种信号在信道上占有不同的时间间隙,同一条信道上传输,并且互不干扰。数字信号传输技术可以在综合业务数字通信网(ISDN)中对来自各种不同消息源的信号自动地进行变换、综合、传输、处理、储存和分离,实现各种综合的业务。

### e. 便于与数字电子计算机连接

由于数字通信中的二进制数字信号与数字电子计算机所采用的数字信号完全一致,所以数字通信线路可以很方便地与数字电子计算机连接,提高对信号的处理能力,提高通信质量,实现复杂的、远距离、大规模自动控制系统和自动数据处理系统,有利于实现通信网的自动化、智能化,提高通信网的效率和可靠性。

### f. 占用频带宽

一路数字电话频带一般为 64 kHz,而一路模拟电话所占频带仅为 4 kHz,前者是后者的 16 倍。然而随着微波、卫星和光缆信道的大量利用(其信道频带非常宽),以及频带压缩编码器的实现和大量使用,数字通信占用频带宽的矛盾正逐步缩小。

## 四、数字通信系统模型

数字通信系统是指利用数字信号传递消息的通信系统。数字通信系统的基本任务是把信源产生的信息变换成一定格式的数字信号,通过信道传输,在终端再反变换成适宜受信者接收的信息形式。数字通信系统的组成形式有多种,但从系统的主要功能和部件看,都可概括为数字通信系统模型,如图 1-4 所示。

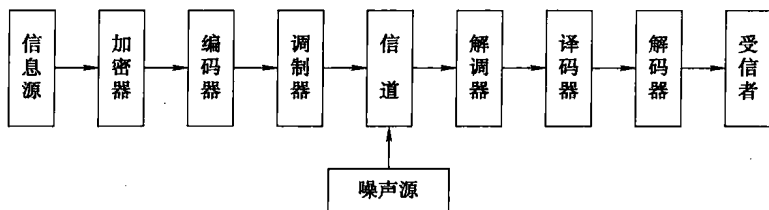


图 1-4 数字通信系统模型

### 1. 信 息 源

信息源是指产生各种信息(如语音、文字、图像及数据等)的信源。

### 2. 编码器、调制器、解调器和译码器

编码器和调制器组合在一起与模拟通信系统的变换器功能类同;解调器和译码器组合在一起与模拟通信系统的反变换器功能类同,但变换的原理有区别。

#### (1) 编码器和译码器

编码器的作用是将信源发出的模拟或离散的信号,转换成有规律的、适应信道传输的数字信号。这种数字信号一般为二进制的脉冲序列。译码器的功能与编码器相反,是把数字信号还原为原始的信息信号。编码器和译码器一般包括两部分:信源编码、信道编码和信道解码、信源解码。

信源编码的主要任务是将信源送出的模拟信号数字化,即对连续信息进行模拟/数字(A/D)变换,用一定的数字脉冲组合来表示信号的一定幅度。

信道编码是一种代码变换,主要解决数字通信的可靠性问题,故又称作抗干扰编码。数字信号在信道中传输,不可避免地会受到噪声干扰,并有可能导致接收信号的错误判断,产生错码(误码)。信道编码就是为了减小这种错误判断出现的概率而引出的编码方法。具体地讲,是将信源编码输出的数字信号,人为地按一定规律加入一些不代表所传信息的多余数字代码,以达到在接收端可以发现和纠正错误的目的。

#### (2) 调制器和解调器

调制器的作用是把二进制脉冲变换或调制成适宜在信道上传输的波形。由于编码器输出的二进制脉冲序列(也称为基带信号)一般不宜在信道中直接传输,尤其不宜在长距离信道中传输,需要把它调制在一个确定的高频振荡(称为载波)上,使高频振荡的振幅、频率、相位或它们的组合随所要传输的数字脉冲有规律地变化。在数字通信系统中,这个过程称为数字调制。它是信息传输过程中的一个重要措施,利用它可减小信道中干扰的影响,可改善信号频谱以及信道特性匹配,减小传输引起的失真,并具有提供多种用户合用一个信道(多路复用)的能力,使信号在信道上的传输效率大为提高。

解调是调制的逆过程,解调器是把接收到的已调制信号进行反变换,恢复出原数字信

号,并送解码器解码。

### 3. 加密器和解码器

数字通信在实现信息加密和解密方面比模拟通信有较大的优越性,一般是在数字通信系统的信源编码器后或前设置加密器,在信源译码器前或后设置解码器来实现保密通信。加密器是在需要实现保密通信时才用的器件。通过加密器可以产生密码,人为地把被传输的数字序列搅乱。这种编码可以采用周期非常长的伪随机序列,甚至采用完全无规律的噪声码,这个过程就叫做加密。在接收端利用与发端完全相同的密码复制品,可对接收到的数字序列进行解密,保证信息传输有极高的保密性。

### 4. 信道

信道是信号的传输媒介。

### 5. 噪声源

噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果。

## 第2节 光纤通信

### 一、光纤通信的发展过程

任何一个通信系统均包括三个主要的组成部分,即发送、传输及接收,光纤通信也不例外。需传送的信息在发送端输入到发送机中,将信息叠加或调制到作为信息信号载体的载波上,然后将已调制的载波通过传输媒质传送到远处的接收端,由接收机解调出原来的信息。通常,信息的载波是射频波、微波或毫米波等。传输媒质为金属导线、同轴电缆、金属波导管或大气等。但近年来,以光波为载波、光纤作为传输媒质的光纤通信异军突起,发展十分迅速,已成为 IT 产业的支柱。

1966年,英籍华人高锟(C. K. Kao)预见利用玻璃可以制成衰减为20 dB/km的通信光导纤维(简称光纤)。当时,世界上最优秀的光学玻璃衰减达1 000 dB/km左右。1970年,美国康宁公司首先研制成衰减为20 dB/km的光纤。从此,光纤就进入了实用化的发展阶段,世界各国纷纷开展光纤通信的研究。为了实现长距离的光纤通信,必须减小光纤的衰减。C. K. Kao早就指出降低玻璃内的过渡金属杂质离子是降低光纤衰减的主要因素。另一方面,玻璃内的 $\text{OH}^-$ 离子对衰减也有严重的影响。到了1976年,人们设法降低 $\text{OH}^-$ 含量后发现低衰减的长波长窗口有:1.31  $\mu\text{m}$ 、1.55  $\mu\text{m}$ 。1980年,光纤衰减已降低到0.2 dB/km (1.55  $\mu\text{m}$ ),接近理论值。这样,使得进行长距离的光纤通信成为可能。与此同时,为促进光纤通信系统的实用化,人们又及时地开发出适用于长波长的光源、激光器、发光管、光检测器等。应运而生的光纤成缆,光无源器件和性能测试及工程应用仪表等技术日臻成熟,这都为光纤光缆作为新的通信传输媒介奠定了良好的基础。1976年,美国西屋电气公司在亚特兰大成功地进行了世界上第一个44.736 Mbit/s且传输110 km的光纤通信系统的现场实验,使光纤通信向实用化迈出了第一步。1981年以后,用光纤通信技术大规模地制成商品并推向市场。

我国自20世纪70年代初开始光纤通信技术的研究。1977年,武汉邮电研究院研制成功中国第一根阶跃折射率分布的、波长为0.85  $\mu\text{m}$ 的多模光纤。后来又研制成单模光纤和特殊光纤,以及光通信设备。现在,我国光纤通信产业已能够生产光纤光缆、光电器

件、光端机及其他工程应用方面的配套仪表器件等。由此可见,中国已具有大力发展光纤通信的综合实力。

国际推荐的 IEEE 1394 串行接口中,使用带屏蔽的双绞线 (Shielded Twisted Pair, STP), 速率虽然可以达 100 Mbit/s,但距离多在 4.5 m 以内,有一定的局限性。另一种就是正在开始初步实用的塑料光纤 (POF)。由于 POF 本身具有比 STP 更多的优点,在家庭网和其他局域网的室内配线中受到了重视。宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 是一种基于异步传输模式 (ATM) 的通信网络,为了进一步提高传输速率,建立同步数字系列 (SDH) 网络是必由之路。21 世纪是个信息时代,为了满足人类不断增长的信息需求,现在这种高价全新的宽带 IP 网络能传输千兆比特多媒体数字信号。为了增加光缆的传输距离,近来研究成功了光放大器,这样就不必进行光电转换、放大、再光电转换,从而实现了直接光放大到全光网络。这对于提高信号质量、降低成本、提高网络的可靠性都是非常有益的。

同步数字体系 (SDH) 是当前电信网的主要传输体制。波分复用系统由于可以在一根光纤上同时传送多个波长的信号,因而通信容量将有很大程度的提高。普通的点到点的波分复用系统虽然有巨大的通信容量,但只提供了原始的传输带宽,必须要有灵活的节点才能实现高效灵活的组网能力。光分叉复用器 (OADM) 和光交叉连接器 (OXC) 是靠光层面上的波长连接来解决节点的容量扩展问题的,单个节点容量可从 160 Gbit/s 增加到 10 Tbit/s。

总之,从 1970 年到现在虽然只有短短三十多年的时间,但光纤通信技术却取得了极其惊人的进展。用带宽极宽的光波作为传送信息的载体来实现通信,这一几百年来人们梦寐以求的幻想在今天已成为活生生的现实。

## 二、光纤通信的光波波谱

光波与无线电波相似,也是一种电磁波,只是它的频率比无线电波的频率高得多。光波包括红外线、可见光、紫外线,其波长范围为:  $300 \sim 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ , 红外线、可见光和紫外线均属于光波的范畴。可见光是人眼能看见的光,其波长范围为  $0.39 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 。红外线是人眼看不见的光,其波长范围为  $0.76 \sim 300 \mu\text{m}$ 。红外线一般分为:近红外区,其波长范围为  $0.76 \sim 15 \mu\text{m}$ ;中红外区,其波长范围为  $15 \sim 25 \mu\text{m}$ ;远红外区,其波长范围为  $25 \sim 300 \mu\text{m}$ 。紫外线的波长最短,也为人眼看不见的光,波长为  $0.39 \sim 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  的电磁波,都属于紫外线。波长再短就是 X 射线、 $\gamma$  射线。电磁波波谱图如图 1-5 所示。

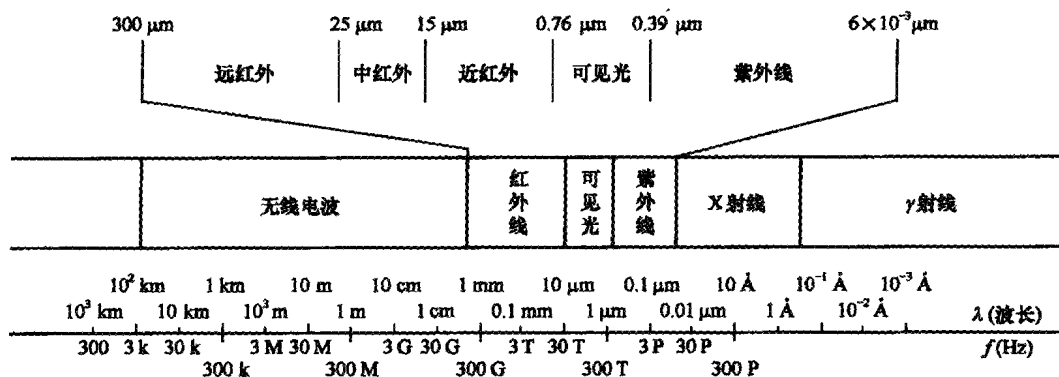


图 1-5 电磁波波谱图

光纤通信的波谱在  $1.67 \times 10^{14} \sim 3.75 \times 10^{14}$  Hz 之间,即波长在  $0.8 \sim 1.8 \mu\text{m}$  之间,属于红外波段。将  $0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$  称为短波长,  $1.0 \sim 1.8 \mu\text{m}$  称为长波长,  $2.0 \mu\text{m}$  以上称为超长波长,目前光纤通信使用的波长有三个:  $0.85 \mu\text{m}$ 、 $1.31 \mu\text{m}$ 、 $1.55 \mu\text{m}$ 。光在真空中的传播速度约为  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,根据波长  $\lambda$ 、频率  $f$  和光速  $c$  之间的关系式:  $\lambda = c/f$ ,对应光纤通信所用光波的波长范围,可得相应的频率范围为  $1.67 \sim 3.75 \times 10^{14}$  Hz。可见光纤通信所用光波的频率是非常高的。正因为如此,光纤通信具有其他通信无法比拟的巨大的通信容量。

各种单位的换算公式如表 1-1 所示。

### 三、光纤通信系统的基本组成与分类

#### 1. 光纤通信系统的基本组成

所谓光纤通信,就是利用光纤来传输携带信息的光波,以达到通信的目的。要使光波成为携带信息的载体,必须在发射端对其进行调制,而在接收端把信息从光波中检测出来(解调)。依目前技术水平,大部分采用强度调制-直接检测方式(IM-DD)。光纤通信的3个传输窗口是:  $0.85 \mu\text{m}$  (短波长窗口)、 $1.31 \mu\text{m}$  和  $1.55 \mu\text{m}$  (长波长窗口)。数字光纤通信系统方框图如图 1-6 所示。

表 1-1 各种单位的换算公式

|                                            |                           |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$            | 1 MHz (兆赫) = $10^6$ Hz    |
| $\lambda = c/f$                            | 1 GHz (吉赫) = $10^9$ Hz    |
| $1 \mu\text{m}$ (微米) = $10^{-6} \text{ m}$ | 1 THz (太赫) = $10^{12}$ Hz |
| $1 \text{ nm}$ (纳米) = $10^{-9} \text{ m}$  | 1 PHz (拍赫) = $10^{15}$ Hz |
| $1 \text{ \AA}$ (埃) = $10^{-10} \text{ m}$ |                           |

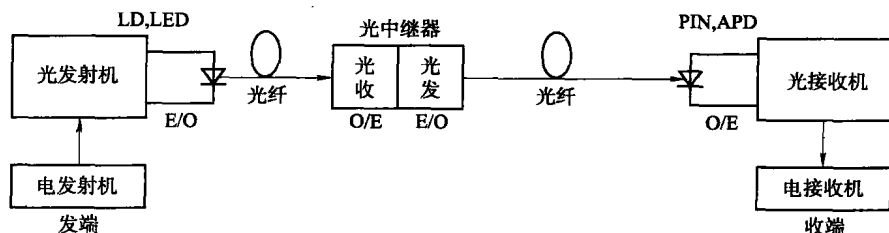


图 1-6 数字光纤通信系统方框图

LD—半导体激光器;LED—半导体发光二极管;PIN—光电二极管;APD—雪崩光电二极管。

从图 1-6 可以看出,数字光纤通信系统基本上由光发射机、光纤和光接收机组成。

光发射机的主要作用是将电信号转换成光信号耦合进光纤。光发射机中的重要器件是能够完成电-光转换的半导体光源,目前主要采用半导体激光器(LD)或半导体发光二极管(LED)。在发射端,电端机把模拟信息(如语音)进行模/数转换,转换后的数字信号复用后再去调制发射机中的光源器件,一般是半导体激光器,则光源器件就会发出携带信息的光波。如当数字信号为“1”时,光源器件发射一个“传号”光脉冲;当数字信号为“0”时,光源器件发射一个“空号”(不发光)。光发射机的作用就是进行电/光转换,把数字化的电脉冲信号码流(如 PCM 语音信号)转换成光脉冲信号码流,并输入到光纤中进行传输。

在光纤通信系统的线路上,目前主要采用由单模光纤制成的不同结构形式的光缆,这是由于它具有较好的传输特性。

为了保证通信质量,在收发端机之间适当距离上必须设有光中继器。光纤通信中光中继器的形式主要有两种,一种是光-电-光转换形式的中继器,另一种是在光信号上直

接放大的光放大器。

光接收机的主要作用是将光纤送过来的光信号转换成电信号,然后经过对电信号的处理以后,使其恢复为原来的脉码调制信号送入电接收机。光接收机中的重要部件是能够完成光/电转换任务的光电检测器,目前主要采用光电二极管(PIN)和雪崩光电二极管(APD)。

在接收端,光接收机把数字信号从光波中检测出来送给电端机,而电端机解复用后再进行数/模转换,恢复成原来的模拟信息。光接收机的作用就是进行光/电转换,把数字电信号(通信信息)经过放大、均衡后再生出波形整齐的电脉冲信号。就这样完成了一次通信的全过程。

## 2. 光纤通信系统的分类

光纤通信系统可以根据系统所使用的传输信号形式、传输光的波长和光纤的类型进行分类。

### (1) 按传输信号形式分类

按传输信号形式的不同,光纤通信系统可以分为模拟光纤通信系统和数字光纤通信系统两类。

#### a. 模拟光纤通信系统

在光纤通信系统中,输入电信号不采用脉冲编码信号的通信系统即为模拟光纤通信系统。在长距离传输时,采用中间增音站将使噪声积累,故只能应用在短距离传输线路上。在公用通信网中的用户部分,可用这种方式传输宽带视频信号。

模拟光纤通信最主要的优点是不需要数字通信系统中的模/数转换和数/模转换,故比较经济。而且一个电视信号如采用数字通信方式,可不用频带压缩,140 Mbit/s 的系统只能通一路电视。在目前的技术情况下,为了在用户网传送多路宽带业务(如 CATV),采用频率调制的频分多路复用的模拟光纤通信方式。

如果只传输一个基带信号,则将此信号直接送到光发送机进行光强度调制即可,但传输距离可能只有几千米。如果在希望较长距离上传输,则要先采用脉冲频率调制(PFM),然后再送到光发送机进行光强调制。由于采用 PFM 后,改善了传输信噪比,故中继距离可达 20 km 以上,而且可以加装中间再生中继器,其传输总长度可达 50 ~ 100 km。

#### b. 数字光纤通信系统

数字光纤通信系统是光纤通信的主要通信方式。数字通信的优点是:抗干扰能力强,使用再生技术时噪声积累少,易于集成以减少设备的体积和功耗,转接交换方便,利于与计算机结合等。数字通信的缺点是:所占的频率宽,而光纤的带宽比金属传输线要宽许多,弥补了数字通信所占频带宽的缺点。光纤通信在接收和发送时,在光电转换过程中所产生的散粒效应噪声和非线性失真较大。但若采用数字通信,中继器采用判决再生技术,噪声积累少。因此,光纤通信采用数字传输成了最有利的技术。目前在人类社会进入信息社会的时代,各国在公用通信网中的长途干线和市内局间中继线路,均纷纷采用数字光纤通信系统作为主要传输方式,以便实现传输网的数字化。

### (2) 按波长和光纤类型分类

按波长和光纤类型分类,光纤通信系统可分为四类。

#### a. 短波长(0.85 $\mu\text{m}$ 左右)多模光纤通信系统

该系统通信容量一般为 480 路以下(速率在 34 Mbit/s 以下),中继段长度为 10 km 以