

内 容 简 介

本书介绍了微波中继通信系统、短波通信系统、卫星通信系统、移动通信系统和光纤通信系统。内容包括系统的组成、相关的新技术、系统性能和设计考虑等。此外,还介绍了基本的网络通信技术——网络协议及其体系结构、网络机制、常用的网络及其互联技术。

本书取材新颖,反映了当前通信系统状况和技术的最新发展。可作为高等学校通信工程、电子信息工程及相关专业的通信系统课程教材,也可作为通信工程技术人员的参考书。

版权所有 翻印必究。举报电话: 010-62786544 邮购: 010-62786545

图书在版编目(CIP)数据

通信系统概论 钱诗其等编著—北京:清华大学出版社, 2000
(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 7-302-02522-2

I 援通...摇 II 援吴...摇 III 援通信系统 原高等学校 原教材摇 IV 援计算机 原

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 100000 号

出版者:清华大学出版社

地址:北京清华大学学研大厦

邮编:100084

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62770175

组稿编辑:陈国新

文稿编辑:赵从棉

印装者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185mm×260mm 印张:10.5 字数:250千字

版 次:2000年 12月第 1 版 2000年 12月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02522-2

印 数:1~5000

定 价:18.00元

高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委（排名不分先后）：

王 京 韦 岗 朱近康 朱世华

邬江兴 李乐民 李建东 张乃通

张中兆 张思东 严国萍 刘兴钊

陈俊亮 郑宝玉 范平志 孟洛明

袁东风 程时昕 雷维礼 谢希仁

责任编辑：陈国新

出版说明

信息工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场。如我国的电话网络规模已占世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步做出贡献。

北京邮电大学

陈俊亮

二〇〇九年 九月

前 摇 言

摇摇本书介绍了当前实际应用的主要通信系统,内容包括系统的组成、相关的当代技术、系统性能 and 设计考虑等。本书可作为通信工程、计算机通信、无线电技术与信息工程等专业的通信系统课程教材,也可作为跨专业高年级学生和通信工程技术人员的参考书。

本书共分 苑章,第 员章通信系统概论,介绍了系统的组成、分类、质量指标,以及通信技术的早期和近期发展状况。第 圆章微波中继通信系统,介绍了微波在近地表的传输特性,讨论了系统组成、工作方式和链路质量指标及其分配等问题。第 猿章短波通信系统,讨论了短波电离层传播特性、接收机天线有效噪声系数、自适应通信技术和短波跳扩频技术,最后介绍了短波、超短波天地通信。第 源章卫星通信系统,内容包括卫星轨道、链路计算、系统组成和多址技术,介绍了当前的星载和地球站设备状况,而卫星移动通信系统和卫星通信系统中的互联网业务也是本章的重要内容。第 缘章移动通信系统,涉及移动通信的基本概念、网络结构、系统组成和容量分析,讨论了多址、功率控制、切换、多用户检测等基本技术和电波传播特性,还介绍了 郾 和 郾 系统,以及第三代移动通信系统的网络结构和关键技术。第 远章光纤通信系统,介绍了系统的组成和基本特点、光纤传输特性与线路设计、系统的关键部件以及光纤组网方面的问题。第 苑章网络通信技术,包括通信网模型、网络拓扑和类型,网络协议与体系结构,网络机制和网络连接,局域网、帧中继、 和因特网等。

本书的第 员至 源章和第 远章由吴诗其编写,朱立东编写了第 缘和 苑章。限于时间和水平,难免有错误、遗漏之处,希望读者不吝指正。

编者

圆 年 猿 月

目 录

第 1 章 通信系统概论.....	1
1.1 通信系统的组成	1
1.2 通信系统的分类和本书的内容	2
1.3 通信技术的发展	3
1.3.1 通信技术的早期发展	3
1.3.2 通信技术的近期发展	4
1.4 通信系统的质量指标	5
第 2 章 微波中继通信系统.....	6
2.1 概述	6
2.2 视距传播特性	7
2.2.1 天线高度与传播距离	7
2.2.2 自由空间传播损耗	8
2.2.3 地面效应	9
2.2.4 大气效应	10
2.3 接收信号功率和接收信噪比	11
2.3.1 接收信号功率	11
2.3.2 噪声系数	12
2.4 衰落、衰落储备与分集接收	13
2.4.1 信道衰落	13
2.4.2 衰落储备与可靠性	14
2.4.3 分集接收	15
2.5 微波中继通信系统的组成	16
2.5.1 系统组成	16
2.5.2 中继方式	17
2.5.3 模拟和数字微波中继系统	18
2.5.4 干扰与杂波	19
2.6 模拟和 干扰微波中继系统	20
2.6.1 模拟微波中继系统假设参考电路与质量指标	20
2.6.2 干扰数字微波中继系统	21
2.7 干扰微波中继系统	22

圆园猿瑶 杂习速率系列、复接等级和接口	圆愿
圆园源瑶 杂习的帧结构和复用映射	圆愿
圆园缘瑶 关于微波帧补充开销	圆愿
圆园远瑶 杂习微波中继系统组成	圆愿
圆园苑瑶 杂习微波中继传输设备关键技术	圆愿
圆园愿瑶 杂习假设参考数字通道和差错性能指标及其分配	猿园
圆园怨瑶 点对多点微波通信	猿猿
圆园怨瑶 系统特点	猿猿
圆园怨瑶 系统组成	猿猿
圆园怨瑶 技术体制	猿猿
习题	猿猿
参考文献	猿猿
第 猿章 短波通信系统	猿愿
猿愿瑶 引言	猿愿
猿愿瑶 电离层传播特性	猿愿
猿愿瑶 电离层的结构和电特性	猿愿
猿愿瑶 多径传播	猿愿
猿愿瑶 最高可用频率	源园
猿愿瑶 短波信道特性	源园
猿愿瑶 短波信道模型	源园
猿愿瑶 短波信道的传输损耗	源园
猿愿瑶 短波信道特性及其对系统性能的影响	源猿
猿愿瑶 频率预报	源源
猿愿瑶 短波通信线路设计	源苑
猿愿瑶 短波天线	源苑
猿愿瑶 有效天线噪声系数	缘园
猿愿瑶 接收机输入信噪比	缘园
猿愿瑶 短波自适应通信技术	缘猿
猿愿瑶 实时信道估计技术	缘猿
猿愿瑶 自动链路建立系统	缘缘
猿愿瑶 短波扩频通信技术	缘愿
猿愿瑶 扩频通信技术的分类	缘愿
猿愿瑶 扩频通信的特点	源园
猿愿瑶 短波直扩通信系统	源猿
猿愿瑶 短波跳扩频通信系统	源猿
猿愿瑶 天地短波和超短波通信系统	源苑
猿愿瑶 天地短波通信系统	源苑

天地超短波通信系统	128
飞行器再入大气层电波的传播	130
习题	132
参考文献	132
第 9 章 卫星通信系统	133
概述	133
卫星轨道	133
系统的组成	134
频率分配	134
卫星通信的特点	135
卫星通信的发展	135
卫星通信网结构	136
卫星通信网的一般特性	136
点多点网络	137
点对点网络	137
链路传输工程	138
卫星链路传播特性	138
卫星移动通信链路特性	139
噪声与干扰	139
卫星通信全链路质量	140
上、下行链路的干扰	140
多址技术	141
频分多址技术	141
时分多址技术	142
码分多址技术	142
多址接入方式	143
星载和地球站设备	143
高功率放大器和低噪声放大器	144
星载转发器	144
通信地球站设备	145
其他类型的地球站	145
灾难救援系统	146
灾难救援网络结构	146
灾难救援系统的主站和小站设备	146
灾难救援数据网	147
灾难救援电话网	147
卫星移动通信系统	148

边缘网络前向链路	156
边缘网络反向链路	156
边缘网络前向链路和反向链路的比较	156
边缘网络有线系统的基本技术	156
边缘网络第三代移动通信系统	157
边缘网络第三代移动通信系统概述	157
边缘网络第三代移动通信系统	157
边缘网络第三代移动通信系统	157
边缘网络第三代移动通信系统	157
边缘网络第四代移动通信系统	157
边缘网络第四代移动通信系统概述	157
边缘网络第四代移动通信系统的特点	157
边缘网络第四代移动通信的网络结构	157
边缘网络第四代移动通信系统的关键技术	157
习题	157
参考文献	157
第 4 章 光纤通信系统	157
4.1 概述	157
4.1.1 光纤通信的基本特点	157
4.1.2 光纤通信系统的组成	157
4.2 光纤传输特性	157
4.2.1 光纤的导光原理与传输模式	157
4.2.2 光纤的传输损耗	157
4.2.3 光纤的色散特性和传输带宽	157
4.2.4 实用光纤的类型和选择	157
4.2.5 光缆的结构与分类	157
4.3 光源和无源光器件	157
4.3.1 光源器件(激光器)	157
4.3.2 无源光器件	157
4.4 光发送机和光接收机	157
4.4.1 光发送机	157
4.4.2 光接收机	157
4.5 光纤传输线路设计与关键器件	157
4.5.1 光纤传输特性对传输距离和传输带宽的限制	157
4.5.2 光放大器	157
4.5.3 光波分传输系统的关键器件	157
4.5.4 接收机信噪比	157

远接遥海海底光缆传输系统	圆苑
远接遥杂网光纤传输系统	圆愿
远接遥系统网络结构	圆愿
远接遥终端复用、分插复用和数字交叉连接设备	圆怨
远接遥光交叉连接	圆园
远接遥假设参考通道及其指标要求与分配	圆源
远接遥杂网光纤系统的组网、保护与恢复	圆缘
远接遥杂网光纤系统组网	圆缘
远接遥杂网光纤网的保护与恢复	圆远
远接遥光纤的其他应用	圆园
远接遥光纤在局域网中的应用	圆园
远接遥光纤在本地电话网中的应用	圆员
远接遥光纤在有线电视系统中的应用	圆圆
习题	圆圆
参考文献	圆猿
第 苑章 网络通信技术	圆源
苑接遥网络通信概述	圆源
苑接遥网络模型	圆源
苑接遥网络的组成部分	圆缘
苑接遥网络拓扑	圆缘
苑接遥网络的类型	圆远
苑接遥网络协议与协议体系结构	圆苑
苑接遥广域网协议体系结构	圆苑
苑接遥局域网协议	圆怨
苑接遥广域网模型与局域网模型的层次比较	圆员
苑接遥网络机制	圆圆
苑接遥多路复用和交换	圆圆
苑接遥差错控制	圆源
苑接遥流量控制	圆缘
苑接遥拥塞控制	圆苑
苑接遥网络拨号连接和家庭联网	圆怨
苑接遥拨号网络	圆怨
苑接遥有线电视	圆园
苑接遥网络	圆园
苑接遥有线电视	圆圆
苑接遥综合业务数字网	圆猿
苑接遥局域网	圆苑

局域网的概念和特点	101
局域网的体系结构	102
局域网标准	103
局域网互联设备	103
无线局域网	104
帧中继	105
帧中继网络	105
帧中继的组成部分	105
帧中继的帧格式	106
帧中继操作	107
网桥	108
网桥网络的组成和特点	108
网桥连接	109
网桥交换机的工作	110
网桥交换机的结构	110
网桥连接的建立	110
网桥信元格式	110
网桥协议	110
网桥适配层的类型	110
因特网	111
因特网的概念及发展历史	111
因特网的体系结构	112
应用层	112
传输层协议	113
网际层协议	113
网络层	113
数据链路层	113
物理层	113
习题	114
参考文献	114

第 1 章 摇摇通信系统概论

摇摇通信系统的组成

通信的任务是克服信息源与收信者之间在地理(距离)上的障碍,迅速而准确地传送信息。

传送信息的方式是多种多样的,而且取决于社会生产力的发展水平。中国古代以点燃烽火台的烟火传递预先约定的信息(比如,表示敌军的入侵),也可以说是一种通信手段。通信在现代信息社会的重要性更加突出,已成为推动人类社会文明、进步和发展的重要力量。现代通信是以电信号的形式或电—光—电的形式传递语音、数据、图像和文本等信息的。

通信系统是传送信息所需设备的总和,可粗略地分为信息源、发送设备、传输媒介、接收设备和收信者,如图 1-1 所示。下面分别介绍各个组成部分的内涵及其功能。

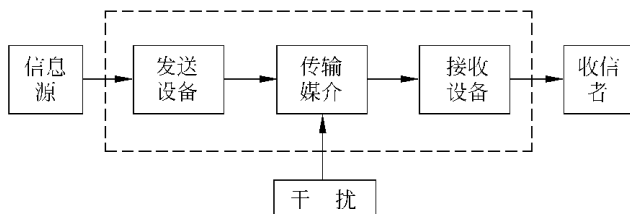


图 1-1 摇摇通信系统的组成

信息源和收信者：信息源输出的信号可以是电话机、摄像机送出的语音或图像信息,也可以是计算机送出的数据流;收信者可以是人,也可以是设备,一般通称为信宿。

发送设备：信息是通过传输媒介进行传输的。发送设备的任务是完成信息源与传输媒介之间的匹配,即对从信源来的信号进行处理,使之转换为适合于媒介传输的信号形式。比如,传输媒介是无线信道时,由于电话信号频率为 300~3400 Hz 很难通过天线辐射出去,必须在发送设备中通过调制和变频的方法,将电话信号搬到适合天线辐射的较高的射频频段进行发射,从而完成电话信号与传输媒介的匹配。

传输媒介：用以传送信息的媒介称为传输媒介,其特性决定了发送设备应采用的信号变换方式。从物理特性来分类,传输媒介可分为有线和无线两大类。有线传输媒介可以是光纤或电缆,而无线传输媒介可利用的频段从中波、长波到激光,有较宽的频段。因在不同的频段,传播特性各异,或应用环境的要求不同,需利用不同性能的设备 and 配置方法与之相适应,从而构成不同的通信系统。本书所讨论的短波、微波中继、卫星和移动通

信系统均是传输媒介为无线的通信系统。

通信系统中,信号通过媒介一般要经过长距离传输,传输过程中的损耗将使进入接收设备的信号十分微弱,极易受到噪声(通常热噪声总是存在的,除非接收机的环境温度达到绝对温度的零度)的干扰。因此,可认为通信系统的干扰是由传输媒介引入的。

接收设备:接收设备的作用有两个方面。

(员)对接收信号进行与发送设备相反的变换处理,以便恢复发送端信息源送出的信号。

(圆)由于接收的信号已叠加有噪声干扰,接收设备应尽可能地抑制干扰,使所恢复的信号尽可能准确。

图 员圆所示的通信系统是单向的传输系统。广播是典型的单向通信系统,但一般地说,作为信息交流的通信系统通常是双向的,比如电话,此时通信的两端都设置有发、收信设备。当然,传输媒介也应当是能双向传输的。

通信系统一般是用来支持众多用户之间通信的,因此除信息的传输之外,对于一个完整的通信网来说,信息在多用户之间的交换也是必不可少的。

员圆 通信系统的分类和本书的内容

通信系统的分类方法较多,常用的有两种:按传输信号的特征和按传输媒介的种类进行分类。

按照传输信号特征的不同,可将通信系统分为数字通信系统和模拟通信系统两类。前者传送数字信号,而后者传送的是模拟信号。众所周知,由于数字通信系统在性能、可靠性、信号处理能力和系统易于集成等方面都远优于模拟通信系统,因此现代的通信系统几乎全是数字通信系统。某些信源发出的模拟信号也是经过模数转换,将模拟信号转换成数字信号进行传输的。本书所讨论的各类通信系统都是数字通信系统。

实用的通信系统都是针对特定的传输媒介,并遵循相关的国际标准而组成的。由于传输媒介的不同,所构成的通信系统无论在系统组成的规模、通信容量、通信方式和采用的技术措施上,还是在支持的业务和应用环境上均有很大的差别。本书各章讨论的不同类型的通信系统正是按不同媒介特性和应用环境进行设计的实用通信系统。

在讨论通信系统中的信号传输时会较多地使用“信道”这一术语。信道相对于传输媒介来说具有更为广泛的含义,它不仅包括传输媒介,还包括发、收信机的前端,甚至调制解调器,是广义的“信道”,而传输媒介则可以认为是狭义的“信道”。

如上所述,通信信道可分为有线信道和无线信道。本书中有线信道的通信系统是第 员章的光纤通信系统,主要讨论光纤的传输特性、光器件和系统设备、杂光(非线性效应)光通信系统(第 员章)、同步数字系列(SDH)光纤组网、保护与恢复等。

由于频段不同、中继转发方式各异以及特定的应用环境和目标,与无线信道相关的通信系统可分为微波中继通信系统(第 圆章)、短波通信系统(第 猿章)、卫星通信系统(第 源章)和移动通信系统(第 缘章)。

在微波中继通信系统一章中,讨论微波的视距传播特性(包括衰落及其储备和分

20世纪70年代:大规模集成电路出现并进一步发展;1970年第一条光纤通信线路投入运行;商用国际卫星通信组织(系统)建立;程控数字交换机进入实用阶段;微处理机在通信领域的应用迅速发展。

20世纪80年代:超大规模集成电路制成;光纤通信进入实用阶段;移动通信迅速发展;综合业务数字网崛起。

1.3.2 通信技术的近期发展

从20世纪80年代开始,通信技术的发展不再主要局限于传输技术的发展。在这以前,通信网是比较单一的、以电路交换为主的电话网,提供的主要是固定的电话、电报业务。随着电信市场需求的巨大变化,要求通信网除支持传统的话音业务外,还要支持数据、图像和多媒体等各种类型的业务;在应用环境方面,支持移动业务的通信网得到了迅猛发展。通信的发展除体现在业务类型的多样化之外,与之相适应的通信技术和通信网的发展也各有其相应的显著特点。下面就通信业务、通信技术和通信网三个方面来分别叙述通信的近期发展概况。

1. 通信业务的发展

顺应用户对多种业务的需求,产生了包括话音、图像和数据业务在内的所谓多媒体业务。不同业务有不同的(复杂程度、实时性、服务质量)要求,并需要不同的传输速率来支持。为支持多媒体业务,通信网需要比只支持单一话音业务时的带宽要宽得多。另一方面,局域网的互联、高速文件的传输、文本或软件的下载等,也需要通信网提供宽的带宽。因此,业务宽带化是近年来通信业务发展的显著特点之一。

与通信业务宽带化相对应,通信业务的移动化、个人化是近期通信业务发展的又一个特点。移动业务的信息传输速率往往较低,但人们希望在移动的环境中进行通信。实现无论在什么时候、什么地方,与任何人之间的任何形式的通信,是个人全球通信的目标。这一目标的实现,将使电信服务从终端扩展至个人。

移动通信是近年来发展最快的通信领域之一,表现在市场的不断扩大和技术体制的不断更新。目前,全球两种主要移动通信制式是欧洲和我国采用的GSM和北美的IS-95。前者采用的是时分多址(TDMA)方式,后者采用的是码分多址(CDMA)方式。它们以话音业务为主,同时可传送低速数据信息。近期将投入商业运营的第三代移动通信系统(3G)将以较高的传输速率(室内为2Mbps,室外车载运动环境为3.1Mbps)支持多媒体业务。在第三代移动通信系统(称为3G)尚未投入商业运营之时,新一代系统(也称为4G)的体制和关键技术已成为了一个研究热点。

2. 通信技术的发展

近期通信技术的发展主要体现在交换技术、大容量传输网络技术和接入网技术三个方面。早期的电话网采用电路交换方式,这种交换方式不适应突发数据业务传输和交换的需要。目前,在整个电信业务中,数据业务的比重越来越大,交换方式也正在从电路交

换向分组交换方式过渡。网络交换机和基于互联网协议 (Internet Protocol) 路由器是数据分组交换网的主要类型的节点。

传输网是通信网的基础设施。现代通信网的核心网由光纤传输网和数字交叉连接 (Digital Cross-Connect System) 或光交叉连接 (Optical Cross-Connect System) 设备构成, 以满足用户对系统通信容量日愈高涨的要求。采用波分复用 (Wavelength Division Multiplexing) 的全光网络是当前核心网技术的发展方向。

接入网完成用户终端到核心网的连接。用户对接入核心网的速率要求越来越高, 同时希望能在移动的环境中随时接入, 为此在用户端配置了相应的高速接收和处理设备。在大容量的核心网与用户终端之间的接入网, 较早采用双绞线的窄带话路接入, 速率只有几十 kbit/s, 很难满足用户要求。目前已经广泛应用的非对称数字用户线 (Asymmetric Digital Subscriber Line) 的速率可达 100 Mbit/s。宽带光纤接入已成为当前的关注热点, 但是在实现“光纤到户”之前, “光纤到路边”是一个较好的过渡方案。

在无线接入方面, 已开始进入商用阶段。如果不久的将来利用第三代移动通信系统, 可使最高接入速率达到 2 Mbit/s。此外, 无线局域网 (Wireless Local Area Network) 作为无线宽带接入网, 也将会获得广泛的应用。

3. 通信网的发展

当前通信网发展趋势的最大特点是互联和融合。因特网 (Internet) 是计算机网和通信网中的一个热点。因特网是由各类网络和计算机组成的一个整体, 是一个连接各类网络和计算机的网间网, 它连接着众多的不断产生新信息的节点。同时, 因特网也是一个基于传输控制协议 (Transmission Control Protocol) 协议簇的网络, 为改善传输性能和网上数据的可靠, 出现了一些对协议进行改进的新版本。

因特网还不是人们通常所说的电信网、有线电视网和计算机网的“三网融合”。“三网融合”不仅是网络层上实现互联互通, 更主要的是业务层上的相互渗透和交叉, 并有待于行业管理和政策方面趋于统一。

1.1 通信系统的质量指标

在设计或评价一个通信系统时, 将涉及通信系统的质量指标。通信系统最主要的质量指标是有效性和可靠性。有效性是指在给定的信道上单位时间所能传送信息的多少, 而可靠性是指接收端所恢复信号的准确程度。

对于模拟通信系统, 工程上常用可传输的电话路数来衡量传输信息的多少。因此, 系统有效性的不高, 就转化为在给定信道 (即给定带宽) 内可传话路数的多少。而系统的可靠性用接收设备输出端的信噪比 (平均信号功率与噪声功率之比) 来表示。

数字通信系统的有效性是以在给定信道内的信息传输速率来表示的。信息速率的单位是比特 (bit) 每秒 (bps)。比特 (bit) 是信息量的单位, 对于 (0, 1) 等概率出现的二进制码, 一个码元符号所携带的信息量为 1 bit。为了提高有效性, 在相同信道带宽时提高信息传输速

率,可采用 M 进制 (M 进制) 传输。 M 进制码元称为符号,它有 M 个取值,如果 M 种取值是等概率的,则一个 M 进制符号所携带的信息量为 $\log_2 M$ 比特。比如,一个四进制或八进制符号携带的信息量为 2 或 3 比特。

传输数字信息所需带宽只与符号速率有关,而与 M 值无关。所以,采用多进制传输可提高通信系统的有效性。

若 M 进制信号的符号速率为 R_B (其单位为波特, Baud), 则其信息速率 R_B 为 $R_B \log_2 M$ 比特/秒。

衡量数字通信系统的可靠性用比特或符号的错误概率来衡量。误比特率 P_B 为

$$P_B = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

误符号概率为

$$P_S = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$