



高等职业教育 · 大学计算机专科教学用书

计算机 网络 教程

北京希望电脑公司 总策划
付立 编著
张大力 审校



宇航出版社



北京希望电子出版社
www.bhp.com.cn

73.81
FL
C-1

高等职业教育 · 大学计算机专科教学用书

计 算 机 网 络 教 程

北京希望电脑公司 总策划

付 立 编著

张大力 审

希望出版社

北京希望电子出版社

www.bhp.com.cn

1999

需要本书或需要得到技术支持的读者, 请与北京海淀 8721 信箱书刊部(邮编 100080)联系。
网址: www.bhp.com.cn, E-mail: lwm@hope.com.cn。电话: 010-62562329, 62541992, 62637101,
62637102 (图书发行, 技术支持); 010-62633308, 62633309 (多媒体发行, 技术支持); 010-
62613322-215 (门市); 010-62531267 (编辑部)。传真: 010-62579874。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/付立编著.-北京:宇航出版社, 1999.8

高等职业教育·大学计算机专科教学用书

ISBN 7-80144-277-6

I.计… II.付… III.计算机网络-教材 IV.TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 27357 号

宇 航 出 版 社 出版发行
北京希望电子出版社

北京市和平里滨河路 1 号(100013)

北京海淀路 82 号(100080)

发行地址: 北京阜成路 8 号(100830)

北京海淀路 82 号(100080)

北京媛明印刷厂印刷

新华书店经销

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 7.25 字数: 120 千字

印数: 1—3 000 册 定价: 10.00 元

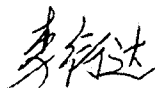
序

计算机网络对科技与经济的影响越来越大，已成为现代社会的重要标志。它已深入到经济、军事、教育、医疗等各个领域，正在深刻地改变着人们的生活，越来越成为科学技术人员必须掌握的一门知识。

本教程的内容覆盖了计算机网络的主要基础知识。从数据通信原理、数据链路层、局域网络技术到网络层和传输层，全面讲述了网络原理，并对现在一些热点技术如 Internet 技术、网络管理、带宽综合业务数字网、异步传输模式等进行了介绍。

本书内容以介绍计算机网络的基本概念为主，重点突出、简洁实用，面向初学计算机网络的读者，特别适合作为大、中专和职业学校的学生普及计算机网络知识的入门教材。本书能够帮助读者很快掌握计算机网络的基本知识，并为进一步学习和研究计算机网络技术奠定基础。科学技术的高速发展，使每个人都真切地感受到学习与掌握现代科学技术的重要性。本教材的出版将为满足广大读者学习计算机网络的愿望发挥其有益的作用。

中国科学院院士
清华大学教授



一九九九年五月

目 录

第 1 章 计算机网络基础.....	1
1.1 计算机网络的功能.....	1
1.2 网络的基本分类.....	1
1.3 网络的体系结构.....	2
OSI 参考模型.....	3
1.4 接口与服务.....	5
1.5 面向连接的服务和无连接的服务.....	6
1.6 服务原语.....	6
练习 1.....	7
第 2 章 数据通信.....	8
2.1 数据通信的基本理论.....	8
2.1.1 Fourier 分析.....	8
2.1.2 信号与带宽.....	8
2.1.3 信道最大速率.....	8
2.2 数据通信.....	9
2.2.1 数字数据使用数字信号传输.....	9
2.2.2 数字数据使用模拟信号传输.....	10
2.2.3 模拟数据使用数字信号传输.....	11
2.2.4 模拟数据使用模拟信号传输.....	12
2.3 传输介质.....	13
2.3.1 双绞线.....	13
2.3.2 基带同轴电缆.....	13
2.3.3 光纤.....	13
2.3.4 无线传输.....	14
2.4 常用通信硬件和标准.....	14
2.4.1 通信硬件.....	14
2.4.2 RS-232-C 和 RS-449.....	15

2.5 多路复用技术	17
2.5.1 频分复用	17
2.5.2 波分复用	17
2.5.3 时分复用	18
2.5.4 同步光纤网络	18
2.6 数据交换技术	19
2.6.1 电路交换	19
2.6.2 报文交换	19
2.6.3 分组交换	19
2.7 综合业务数字网	20
2.8 通信卫星	22
练习 2	22
第 3 章 数据链路层	23
3.1 数据链路层简介	23
3.2 差错控制	24
3.2.1 差错校正码	24
3.2.2 差错检测码	25
3.3 基本的数据链路层协议	26
3.3.1 简单数据链路层协议	26
3.3.2 连续 ARQ 协议	28
3.3.3 滑动窗口协议	28
3.4 数据链路层协议规范和验证	29
3.4.1 有限状态机模型	29
3.4.2 使用有限状态机模型验证 3.3.1 节协议	30
3.5 高级数据链路控制协议	30
练习 3	31
第 4 章 计算机局域网	32
4.1 IEEE 802 标准	32
4.2 IEEE 标准 802.2: 逻辑链路控制	34

4.3	IEEE 标准 802.3: 以太网	35
4.3.1	ALOHA	35
4.3.2	载波监听多路访问协议	36
4.3.3	以太网	36
4.3.4	802.3 MAC 帧格式	38
4.3.5	交换式 802.3 局域网	41
4.4	IEEE 标准 802.4: 令牌总线	41
4.5	IEEE 标准 802.5: 令牌环	42
4.6	光纤分布数据接口 (FDDI)	43
4.6.1	FDDI 的性能	43
4.6.2	FDDI 帧的格式	44
4.6.3	FDDI 协议	44
4.7	快速以太网	46
4.8	局域网互连	46
4.8.1	网络互连的类型	46
4.8.2	转发器和集线器	46
4.8.3	网桥	46
4.9	网络操作系统	47
练习 4		48
第 5 章	网络层	49
5.1	数据交换和分组交换	49
5.1.1	电路交换网络	49
5.1.2	分组交换网络	50
5.2	网络路由	53
5.2.1	固定路由	53
5.2.2	广播路由	55
5.2.3	随机路由	55
5.2.4	自适应路由算法 (动态路由)	55
5.3	流量控制和拥塞控制	56
5.4	网络层互连	57

5.5 X.25 和帧中继	57
5.5.1 X.25	57
5.5.2 帧中继	59
练习 5	61
第 6 章 传输层	62
6.1 传输层的功能	62
6.2 传输层服务质量	62
6.3 传输服务原语	63
6.4 传输协议数据单元	64
6.5 传输层地址	64
6.6 建立连接	65
练习 6	66
第 7 章 宽带综合业务数字网	67
7.1 宽带综合业务数字网与异步传输模式	67
7.1.1 B-ISDN 参考模型	67
7.1.2 虚通路和虚通道	68
7.1.3 ATM 传输模式	69
7.1.4 ATM 信元格式	69
7.2 ATM 交换机	70
7.2.1 ATM 交换机类型	72
7.2.2 ATM 信元传输和接收	72
7.3 ATM 虚通路/虚通道连接	73
7.3.1 建立连接	73
7.3.2 路由和交换	75
7.4 ATM 适配层协议	76
7.4.1 ATM 适配层	76
7.4.2 ATM 适配层协议	77
练习 7	77
第 8 章 因特网 (Internet)	78

8.1 因特网的发展和协议	78
8.2 网际协议	79
8.2.1 IP 数据报	79
8.2.2 子网	80
8.3 因特网控制协议	80
地址解析协议 ARP	80
8.4 IPv6	81
8.5 因特网传输层协议	82
8.5.1 TCP 协议	82
8.5.2 TCP 报文段	83
8.5.3 TCP 连接	84
8.5.4 UDP 协议	84
8.6 因特网的主要应用	84
8.6.1 域名系统	85
8.6.2 万维网(World Wide Web)	85
8.6.3 电子邮件	86
练习 8	88
第 9 章 计算机网络管理	89
9.1 计算机网络管理简介	89
9.2 简单网络管理协议	89
9.3 计算机网络安全	90
代码加密	91
练习 9	91
主要参考文献	93

第 1 章 计算机网络基础

计算机网络是按照网络协议实现通信的互连的计算机集合。它结合了计算机技术、通信技术、多媒体技术等各种新技术。计算机网络的应用对社会有重要的影响，许多原有的方式被改变了。使用计算机网络实现教育、医疗、商业、贸易和工业自动化生产已经和正在成为现实。

20 世纪 40 年代第一台电子计算机问世。60 年代和 70 年代初计算机分组交换网络 ARPANET 开始使用。70 年代和 80 年代微型计算机和计算机局域网兴起，国际标准化组织（ISO）建议的开放式系统互连模型（OSI）和各种各样的标准也付诸实现。80 年代和 90 年代因特网（Internet）迅速增长，各种各样的计算机、局域网和广域网使用 TCP/IP 协议互连在网上，WWW 浏览器使文件系统扩展到整个网络范围，客户/服务器模式使网络可以交互使用，计算机网络成为社会发展的重要工具。

1.1 计算机网络的功能

计算机网络的使用扩展了计算机的应用能力。计算机网络的功能可以分为以下几种：

- 1) 资源共享——计算机网络可以使分散在不同地理位置的计算机和用户互相利用软件和硬件资源。每台计算机可以使用整个网络范围的文件系统。
- 2) 通信——计算机网络使动作快捷、价格便宜的通信成为可能。因为网络不仅可以传输文字信息，而且还可以传输多媒体信息。网上电话和网上电视正在成为计算机网络的应用。
- 3) 分布式应用——采用客户-服务器模式（client-server model），可以把问题分散到网络的不同计算机而由它们共同完成任务，这种模式扩展了计算机的能力。

1.2 网络的基本分类

计算机网络的分类可以根据网络的规模定义。教室、校园和办公室经常使用局域网（LAN），它的范围是方圆几百米内。广域网（WAN）范围是方圆几十公里到几千公里。而因特网（Internet）是连接了许多广域网和局域网的网络。计算机局域网的传输速度可以从 10~1000Mb/s（100 万比特/秒）。计算机局域网以太网（Ethernet）采用

“广播方式”和总线型拓扑，而令牌环（Token Ring）和 FDDI（光纤分布式数据接口）则采用点-点连接方式和环型拓扑，各种局域网采用的拓扑如图 1.1。连接到广域网的主机（host）通过子网（subnet）进行通信，子网包括路由器、交换机等网络通信设备和通信链路，子网经常采用点-点连接方式连接路由器或交换机，这些路由器或交换机存储-转发来自主机的分组(Packets)；有些子网还使用了卫星-地面站系统。图 1.2 显示了主机和子网之间的关系。

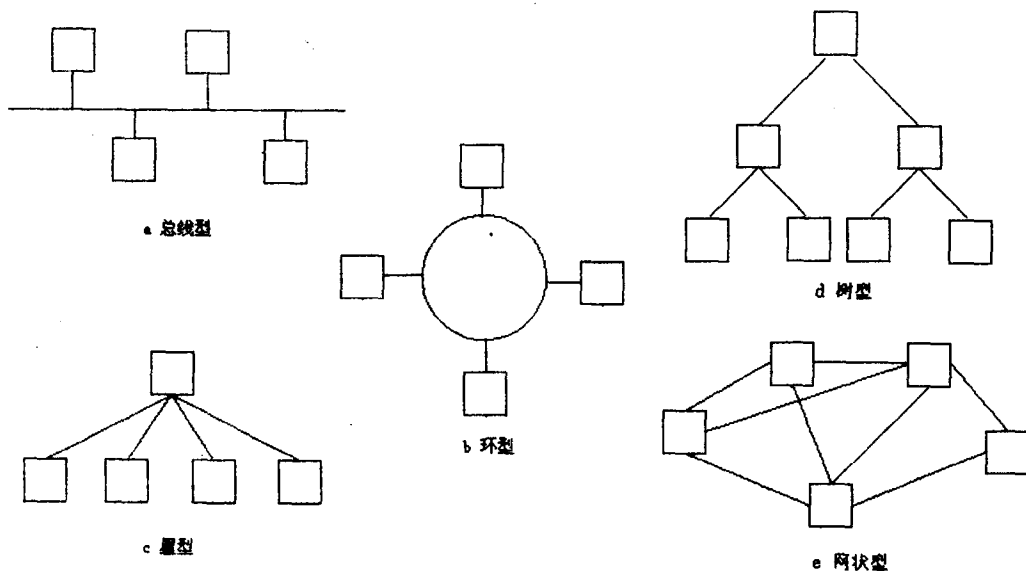


图 1.1 计算机网络拓扑结构

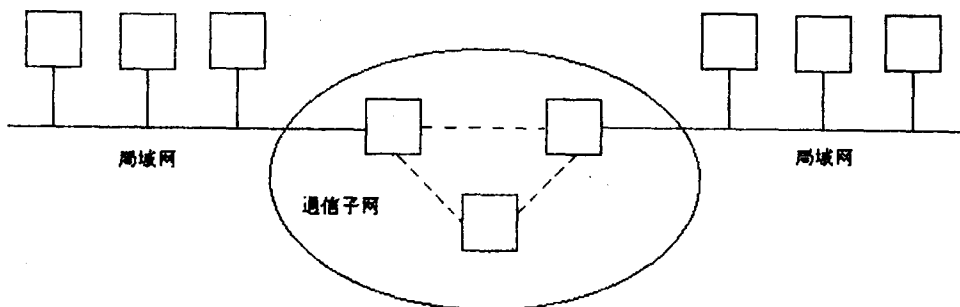


图 1.2 主机与子网的关系

1.3 网络的体系结构

由于计算机网络的复杂性，采用分层次结构可以使网络易于管理。例如使用什么传输介质是物理层的问题，而使用什么传输文件协议则是应用层的问题。网络体系结构采用分层次的体系结构，标准化组织对互连计算机的对等层制定了相关的协议。国

际标准化组织 ISO 建议的开放式系统互连 (OSI) 模型采用 7 层机构。当两台互连计算机的 N 层进行一次对话时, 使用的规则和惯例称为网络协议。这个会话对高层是虚拟相应的, 因为实际的数据从上层传给下层而且经过物理介质从一台计算机传给另一台计算机。这些层和协议的集合称为网络的体系结构。图 1.3 是 ISO 建议的 OSI 模型和 OSI 参考模型各层使用的数据单元。

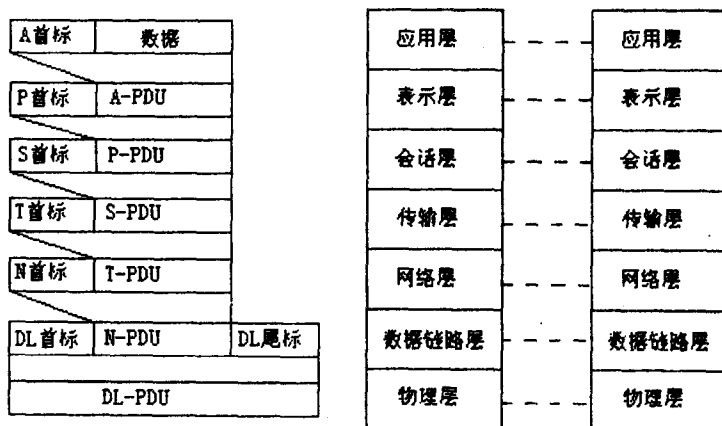


图 1.3 ISO 开放式系统互连参考模型与各层协议数据单元

A 应用层 P 表示层 S 会话层 T 传输层 N 网络层

DL 数据链路层 PDU 协议数据单元

OSI 参考模型

OSI 模型是在国际标准化组织 ISO (International Standards Organization) 为了使网络各层使用的协议朝国际标准化改进的一份建议中提出的。OSI 模型有 7 层, 主要的分层原则如下:

- 1) 当不同层次的抽象需要时定义一个层次;
- 2) 每层执行一个被很好确定了的功能;
- 3) 选择每层的功能时要照顾到定义国际通用的标准化协议;
- 4) 选择层的边界使越过接口的信息流量最少;
- 5) 层数要足够多, 使不同的功能不会在相同的层; 而又要足够少, 使体系结构不致庞大。

根据图 1.4 我们讨论这个模型的每一层。

(1) 物理层

物理层通过传输介质 (铜线、光纤、无线电波、微波、光波等) 传送称为比特流

的二进制数据。物理层需要制定机械的、电气的、功能的和规程的接口标准。

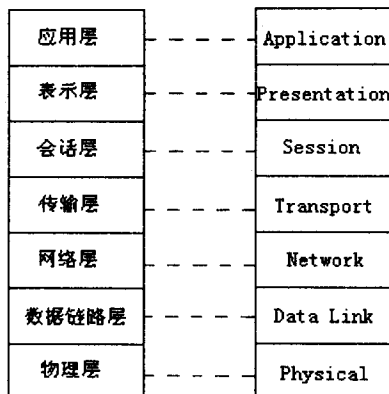


图 1.4 OSI 开放式系统互连模型

(2) 数据链路层

数据链路层协议主要用于两台相邻连接的计算机，当一台机器从上层取得数据时需要拆分输入的数据成为数据帧（典型的数据量是几百或几千字节），它依次地传送（虚拟）这些帧，同时接收并处理计算机返回的应答（acknowledgement）。由于线路上的突发噪音会损坏帧，因此需要发现差错的机制和重新传送损坏的帧；同样它也需要调节流量。计算机局域网的数据链路层需要有控制信道使用的算法。

(3) 网络层

网络层协议主要在广域网或通信子网使用。关键的问题是决定网络层的数据单元报文分组（packets）从源机器到目标机器的路由（选择路径）。路由可以采用静态的路由表，也可以根据网络负载动态地确定。如果子网有太多的报文分组，需要在网络层控制这种拥塞（congestion）。

(4) 传输层

传输层的基本功能是从会话层接收数据，把它们拆分为小数据单元传给网络层。由于网络层提供给传输层的服务可以是不可靠的，传输层机制需要保证这些数据单元在另一边正确地到达。在多数情形下，传输层对会话层要求的对话需要建立连接。传输层是真正的从源到目标的端-端层，它使源机器的一个程序与目标机器的一个类似的程序进行一次对话。传输层的数据单元的首标包括连接的信息。在传输层也有流量控制的机制调节信息流量。

(5) 会话层

会话层允许在不同机器用户之间建立会话。会话层可以提供有用的服务。一次会话可以允许用户在一个距离很远的分时系统登录, 或者在两台机器之间传送一份文件。会话层的服务也包括管理对话控制、令牌管理等。

(6) 表示层

表示层涉及传送信息的语法和语义。一个表示层服务的典型例子是用一种统一的标准编码数据。多数用户程序不会使用随机的二进制数字串, 而是使用 ASCII 码那样的文字和数字。为了允许使用不同表示的计算机可以通信, 被交换的数据结构必须用一种抽象的方式定义, 而且要有一种标准的编码。表示层管理这些抽象的数据结构, 并且把它们从计算机的内部表示转换到网络的标准表示方式。

(7) 应用层

应用层包括各种各样的应用协议, 如域名系统 (DNS)、文件传输 (FTP)、电子邮件 (SMTP)、WWW (HTTP) 等应用的协议均属于应用层。

1.4 接口与服务

分层结构的每层为上层提供服务。每层的活动单元称为实体, 它可以是软件实体, 也可以是硬件实体。不同机器的相同层的实体称为对等实体。服务在某个服务存取点 (SAP) 取得, 比如电话的服务存取点是插口, 它的地址是电话号。而在邮政系统, 服务存取点的地址是街道地址和邮箱号。

在两层之间, $n+1$ 层实体通过服务存取点传送接口数据单元 (IDU) 给 n 层实体, 如图 1.5 所示。接口数据单元包括服务数据单元 (SDU) 和某些控制信息。服务数据单元通过网络到达对等实体的 $n+1$ 层。为了传送服务数据单元, n 层实体可以把它拆分为几个部分, 每个部分加首标并作为单独的协议数据单元 (PDU) 发送, 比如作为分组发送。对等实体使用协议数据单元的首标完成对等协议。它们标识哪些协议数据单元包括数据, 哪些包括控制信息, 同时也提供序列号和计数等等。

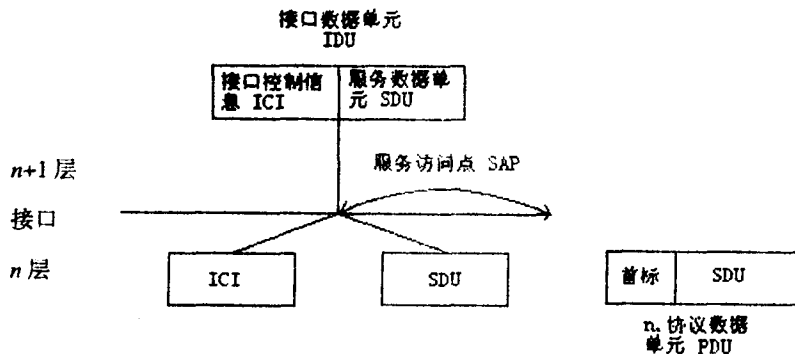


图 1.5 层与层之间的接口

1.5 面向连接的服务和无连接的服务

层与层之间可以提供两种不同类型的服务给上层：面向连接服务和无连接服务。面向连接服务和电话系统相似，打电话时需要拨号建立连接。面向连接服务需要为用户应用进程建立连接，数据分组即可使用这个连接按次序传输到目标。建立连接后每个数据分组不使用目标地址标识，所有数据分组传输完成后再释放连接。无连接服务类似邮政系统，每封信包括完整的目标地址，并且每封信可以有不同的路径。无连接服务不需建立和释放连接，每个数据分组包括目标地址，它们自由选择路径，因此到达目标时也没有次序。对于可靠的服务接收机器需要有应答，不可靠的服务经常称为数据报服务。

1.6 服务原语

层与层之间提供或请求服务需要使用原语（primitive）。OSI 模型的服务原语分为 4 类：请求（Request）、指示（Indication）、响应（Response）和证实（Confirm），它们的功能如表 1.1 所示。以打电话为例，拨号相当于使用请求原语，响铃相当于接收指示原语，对方拿话筒相当于响应原语，而得知对方拿取话筒则相当于接收证实原语。

表 1.1 服务原语

原语	功能
Request	实体请求某项服务
Indication	通知实体某个事件
Response	实体响应某个事件
Confirm	原先请求的响应已返回

练习 1

- 1.1 你认为计算机网络有哪些用途？
- 1.2 计算机网络可以分为几类？局域网与广域网各有哪些特点？
- 1.3 举例说明计算机网络的功能。
- 1.4 为什么计算机网络采用分层结构？
- 1.5 如果在两台计算机之间传送文件，这份文件在各层的数据格式是什么？哪些是对等实体协议使用的虚拟数据？哪些是实际传输的数据？
- 1.6 ISO 提出的 OSI 的分层原则是什么？各层主要功能是什么？
- 1.7 什么是 SAP？
- 1.8 什么是面向连接的服务和无连接服务？
- 1.9 服务原语有哪些类？

第 2 章 数据通信

2.1 数据通信的基本理论

信息可以在线路上以变化的物理性质如电压和电流来传送。把电压和电流的数值作为单值的时间数 $f(t)$ ，我们可以用模型从数学分析它。

2.1.1 Fourier 分析

19 世纪早期，法国数学家 Jean-Baptiste Fourier 证明，任何满足狄义赫利条件周期为 T 的函数 $g(t)$ 可以用一定数量的正弦项与余弦项的和来构造：

$$g(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$f=1/T$ 是基波， a_n 和 b_n 是第 n 次谐波（项）的幅度。这种分解称为 Fourier 级数。从 Fourier 级数可以了解信号由很多频率不同的正弦波和余弦波分量构成。

2.1.2 信号与带宽

传输设备在传送信号时要损失某些能量，由于对不同的 Fourier 分量减少不同的数量可能引起失真。通常被传输的幅度从 0 到某个频率 f_c 没有减少， f_c 以上的部分衰减很快。这是由于传输设备的物理性质和线路上的滤波器造成的。如果带宽低仅有最低频率的部分可以被传输，如图 2.1 所示。

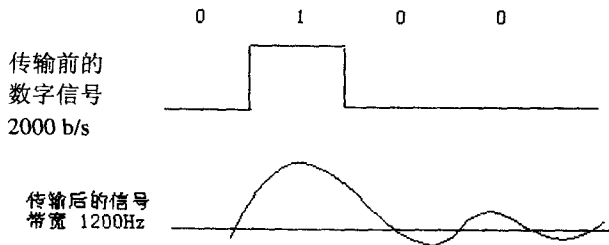


图 2.1 带宽对数字信号的影响

2.1.3 信道最大速率

信道速率是信道每秒传输的二进制代码的比特数。1924 年，H.Nyquist 推导出一个公式表示有限带宽和无噪音信道的最大速率。Nyquist 证明：通过带